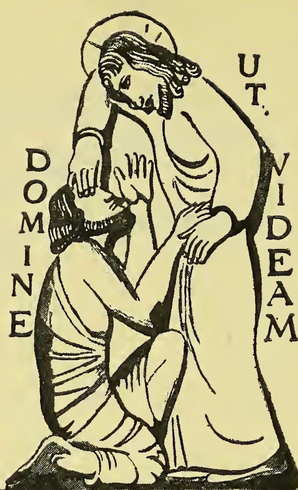

DOMINE
UT.
VIDEAM

Die ophthalmoskopischen

Lichtreflexe der Netzhaut.

Die ophthalmoskopischen

Lichtreflexe der Netzhaut.

Nebst Beiträgen zur normalen Anatomie der Netzhaut.

Von

Dr. FRIEDRICH DIMMER,

Docent für Augenheilkunde an der Wiener Universität.

Mit 36 Abbildungen im Text und 1 Tafel.

LEIPZIG UND WIEN.

FRANZ DEUTICKE.

1891.

K. und k. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen.

Vorwort.

Die so auffallenden Reflexerscheinungen in der Gegend der Macula lutea, für die bisher keine befriedigende Erklärung gegeben werden konnte, bildeten den Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit. Es stellte sich dabei als nothwendig heraus, die Verhältnisse des Lichteinfalles in das mit dem Augenspiegel untersuchte Auge einer genaueren Betrachtung zu unterziehen. Dies führte mich dazu, auch die anderen an der Retina wahrnehmbaren Lichtreflexe in den Kreis der Untersuchung zu ziehen und als ich schliesslich mit den dabei gewonnenen Erfahrungen auch an die Beobachtung der Reflexstreifen auf den Gefässen ging, ergaben sich so vielfache Widersprüche mit den diesbezüglich geltenden Ansichten, dass ich auch hierin zu Resultaten gelangt bin, die von denen anderer Untersucher wesentlich verschieden sind.

Die Ergebnisse der anatomischen Untersuchungen der Retina im Bereich der Macula lutea scheinen mir sehr wesentlich durch ihre volle Uebereinstimmung mit den daselbst sichtbaren Lichtreflexen gestützt zu werden.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Fuchs, der mir das anatomische Material überliess und Herrn Prof. Exner für einige Rathschläge hier meinen ergebensten Dank auszusprechen. Ebenso danke ich herzlichst dem Collegen Dr. Salzmann für die Ausführung der zwei anatomischen Figuren

sowie für seine Mithilfe bei der letzten Durchsicht des Manuscriptes und ihm sowohl als Herrn Doc. Dr. Schaffer für die Ueberlassung von anatomischen Präparaten.

Indem ich hoffe durch meine Untersuchungen einen Beitrag zur Kenntnis des klinischen und anatomischen Befundes der normalen Retina geliefert zu haben, empfehle ich das Buch dem Wohlwollen des Lesers.

Wien, im Juli 1891.

Dr. Dimmer.

Inhalt.

Einleitung.

Von dem Lichte, welches mittels des Augenspiegels in ein Auge geworfen wird, geht ein Theil durch die Reflexion an den brechenden Flächen der durchsichtigen Medien des Auges verloren. Jene Lichtmenge, die zum Augenhintergrunde gelangt, wird daselbst theils absorbirt, theils reflectirt. Das diffus reflectirte Licht, welches — wieder nur zum Theile — in das Auge des Beobachters eindringt, vermittelt diesem die Wahrnehmung des Fundus des untersuchten Auges.

Es gibt aber an der Netzhaut auch Flächen, welche Licht nicht diffus, sondern regelmässig zurückwerfen. Dieses kann bei geeigneter Form und Stellung der Flächen zum einfallenden Lichte die Pupille des beobachteten Auges verlassen und vom Auge des Beobachters aufgenommen werden.

Hierher gehören zunächst die Reflexe, welche als helle Streifen auf den Netzhautgefässen sich darstellen. Diese sind in jedem Auge erkennbar. Bei der Untersuchung der Augen jugendlicher Individuen erblickt man aber noch andere Erscheinungen, die sich nur durch Reflexion an spiegelnden Flächen erklären lassen. Es sind dies Streifen oder Flecke vorschiedener Configuration, die sich entweder im ganzen Augenhintergrunde oder speciell in der Gegend des gelben Fleckes zeigen.

Alle diese Reflexe manifestiren sich als solche durch folgende Zeichen:

1. Sie erscheinen stets weisslich glänzend, oft glitzernd.

2. Sie ändern meist ihren Ort, oft auch ihre Gestalt und Intensität bei Verschiebungen oder Drehungen des Spiegels (beim verkehrten Bilde auch bei Verschiebungen der Convexlinse)

3. Wenn man das Licht durch ein Nicol'sches Prisma auf den Spiegel fallen lässt und dann hinter dem Spiegel ein zweites Nicol'sches Prisma anbringt, so verschwinden bei gekreuzter Stellung der beiden Nicol's die Netzhautreflexe vollständig. [Coccius (16) *]

---

*) Die eingeklammerten Ziffern nach den Namen der Autoren beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Ende des Buches.

Um ihre Entstehung zu erklären, muss man zunächst den Einfall der Lichtstrahlen in das Auge studiren. Selbstverständlich muss dabei die Methode der Untersuchung im aufrechten Bilde von jener im umgekehrten Bilde getrennt werden. Bei beiden Methoden ist die Grösse der Lichtquelle und ihre Entfernung von dem Spiegel zu berücksichtigen. Beim umgekehrten Bilde kommt ausserdem die Distanz zwischen dem Spiegel und der Convexlinse in Betracht, sowie die Stärke dieser letzteren und ihr Abstand vom untersuchten Auge. Beim aufrechten Bilde dagegen werden verschiedene reflectirende Apparate — Helmholtz'scher Beleuchtungsapparat, Planspiegel, Concavspiegel — verwendet, welche auch einen verschiedenen Einfluss auf die Richtung und Menge der in das Auge gelangenden Lichtstrahlen ausüben werden.

Da, wie wir sehen werden, die Netzhautreflexe bei weiter und enger Pupille ein verschiedenes Verhalten zeigen, so darf man sich nicht damit begnügen, dass zweifellos bei erweiterter Pupille mehr Licht in das Auge eintreten kann, als bei enger. Es muss vielmehr untersucht werden, ob und in welcher Weise die Richtung der einfallenden Strahlen bei enger Pupille sich von jener bei weiter Pupille unterscheidet.

Soll nun das regelmässig an der Netzhaut reflectirte Licht vom Beobachter wahrgenommen werden, so muss es natürlich nicht nur die Pupille des beobachteten Auges passiren können, sondern es muss auch im Stande sein, durch die reflectirenden Glasplatten — beim Helmholtz'schen Beleuchtungsapparat — oder durch das Spiegelloch bei den belegten durchbohrten Spiegeln — in die Pupille des Untersuchers zu gelangen. Ob dies möglich ist, das lässt sich erweisen, wenn man durch Construction oder Rechnung die Richtung der Lichtstrahlen nach ihrer Reflexion an den betreffenden spiegelnden Flächen ermittelt. Diese letzteren müssen zu diesem Zwecke in ihrer Form und Lagerung möglichst genau bestimmt werden. Dazu sind zum Theile specielle Untersuchungen nöthig, da auf diese Verhältnisse gewöhnlich keine Rücksicht genommen wird.

Ist die hieraus sich ergebende Erklärung der Reflexe richtig, so muss sich auch nachweisen lassen, dass bei bestimmten Aenderungen in der Richtung oder Art des Lichteinfalles auf die Netzhaut, jene Verlagerungen und Gestaltveränderungen der Reflexe eintreten müssen, wie wir sie mit Hilfe des Augenspiegels constatiren. Ferner könnte besonders die Lage der Reflexe im Augenhintergrunde wechseln, wenn der Winkel, den die Gesichtslinie des Beobachters mit den spiegelnden Flächen einschliesst, ein anderer wird.

Die uns hier beschäftigende Untersuchung zerfällt also naturgemäss in zwei Theile: Der erste Theil handelt vom *Einfalle der Strahlen in das untersuchte Auge*, der zweite von ihrer *Reflexion am* Augenhintergrunde und ihrem *Austritte durch die Pupille* des be-

obachteten Auges, woran sich sogleich die Erörterung anschliessen muss, welche von diesen Strahlen das Loch des Spiegels und die Pupille des Beobachters aufzufangen vermag. Im ersten Theile enthält der erste Abschnitt eine Betrachtung des Strahleneinfalles auf die beleuchtete Netzhautpartie im Ganzen, während im zweiten Abschnitte der Strahleneinfall auf kleinere, innerhalb des Flammenbildes gelegene Netzhautstellen auseinander gesetzt werden wird. Im zweiten Theile soll zunächst bei jedem der Reflexe, welche zur Beobachtung kommen, die betreffende Literatur besprochen werden. Hierauf folgt die Darstellung der von mir gemachten ophthalmoskopischen Beobachtungen und endlich die Erklärung des Zustandekommens der mit dem Augenspiegel sichtbaren Lichtreflexe.

I. Theil.

Einfall der Strahlen in das untersuchte Auge.

I. Abschnitt.

Einfall der Strahlen auf die beleuchtete Netzhautpartie im Ganzen.

Allgemeines.

Es ist hier die Richtung und die Menge des in das Auge eintretenden Lichtes bei den verschiedenen Methoden zu bestimmen.

Was die Richtung des Lichtes im allgemeinen betrifft, sind zunächst zwei Fälle möglich: entweder das Licht fällt in der Richtung einer optischen Axe — Haupt- oder Nebenaxe — ein oder es gelangt in einer anderen Richtung in das Auge. Doch muss auch die Richtung der einzelnen zum Augengrunde gelangenden Strahlenbündel erörtert werden.

Von den reflectirenden Apparaten wird ein reelles umgekehrtes Bild der Lichtquelle vor oder hinter dem Auge oder ein virtuelles aufrechtes Bild vor dem Auge entworfen. Die Lage und Grösse dieses Bildes kann leicht aus der Entfernung des Spiegels von der Flamme und eventuell aus seiner Brennweite bestimmt werden. Von diesem Flammenbilde wird nun durch die brechenden Medien des Auges ein gleichgerichtetes oder verkehrtes Bild in, vor oder hinter der Retina erzeugt. Die Grösse dieses Bildes und seine Lage zur Retina des untersuchten Auges wird natürlich bestimmt sowohl durch die Entfernung, Grösse und Lage des vom reflectirenden Apparate gebildeten Flammenbildes, als durch die Refraction des Auges.

In den folgenden Auseinandersetzungen soll der Brechzustand zunächst immer als emmetropisch angenommen werden.

Die Art, wie die Strahlen auf die Retina fallen, hängt aber nicht nur von den Verhältnissen des in letzter Linie von dem dioptrischen Apparate des Auges entworfenen Bildes der Lichtquelle, sondern auch davon ab, ob die ganze Pupille oder nur ein Theil derselben von dem Lichte erfüllt ist. Auch wenn das Letztere der Fall ist, können wir nicht kurzweg den Rand der Pupille als Begrenzung der in das Auge fallenden Strahlenbündel

ansehen. Um dies Letztere zu können, muss man vielmehr nachweisen dass jedes einzelne Strahlenbündel, welches von dem durch den reflectirenden Apparat erzeugten Flammenbilde ausgeht, auch wirklich die ganze Pupille einnimmt. Dieses Flammenbild ist ja nicht selbst leuchtend, sondern die Divergenz der darin enthaltenen Strahlenbündel wird bedingt durch folgende Umstände: 1. Durch die Entfernung des Flammenbildes vom Spiegel. 2. Durch die Grösse dieses Bildes und 3. durch den Durchmesser des Spiegels (= Spiegelöffnung; doch will ich, um Verwechslungen mit dem Spiegelloche zu vermeiden, immer den Ausdruck »Durchmesser des Spiegels« gebrauchen).

Beim verkehrten Bilde kommt noch die Stärke der Convexlinse, ihre Apertur und ihre Entfernung sowohl von dem Flammenbilde, als auch vom Auge in Betracht.

Beim aufrechten Bilde dagegen muss noch ein Umstand berücksichtigt werden. Benützen wir nämlich dabei einen durchbohrten belegten Spiegel — sei es Plan- oder Concavspiegel — so nimmt das Spiegelloch einen sehr merklichen Einfluss auf den Lichteinfall. Von dem Spiegelloche wird kein Licht reflectirt. Es verbleibt somit vor demselben eine dunkle Stelle. Beim verkehrten Bilde, bei welchem wir den Concavspiegel gebrauchen, ist dieser stets so weit vom untersuchten Auge, dass der vom Spiegelloche ausgehende Schatten nicht die Pupille des beobachteten Auges direct erreicht. Die Convexlinse entwirft aber ein Bild des Spiegels und auch des Spiegelloches, welches hinter die Pupille des beobachteten Auges zu liegen kommt. Von der Lage dieses Bildes des Spiegelloches wird es abhängen, ob die ganze Pupille oder nur ein Theil derselben vom Licht durchsetzt wird. Untersucht man aber mittels der Methode des aufrechten Bildes, so ist man bekanntlich genöthigt, sich dem beobachteten Auge sehr zu nähern. Es wird somit meist diese unbeleuchtete Partie einen Theil der Pupille des Auges einnehmen.

Eine verschiedene Grösse der Pupille verändert allerdings nicht den Ort, die Lage und die Grösse des zuerst vom Spiegel, dann vom dioptrischen Apparate des Auges entworfenen Flammenbildes. Sie muss aber Strahlenbündeln von verschiedener Breite den Eintritt ins Auge gestatten. Es wird also bei weiter Pupille das Licht unter anderen Winkeln auf die Netzhaut gelangen können als bei enger.

Auch die Entfernung der Pupille von der Netzhaut, also die Tiefe der vorderen Kammer, alterirt den Verlauf der Strahlen zum Augenhintergrunde. Doch kann dies nicht merklich ins Gewicht fallen. Dieselbe Wirkung wie eine Verschiebung der Iris nach rückwärts muss ja eine geringe Erweiterung der Pupille ausüben. Lässt sich nun die Constanz der beobachteten Erscheinungen bei geringen Schwankungen in der Pupillenweite beweisen — und dies ist der Fall — so kann man wohl mit vollem

Rechte die Tiefe der Kammer als eine bestimmte constante Grösse annehmen.

Aus demselben Grunde kann man auch bei den folgenden Untersuchungen die wirkliche Pupille in ihrer wirklichen Lage zur Grundlage des Strahlenverlaufes machen. Genau genommen sollte man Strahlen, die den wirklichen Pupillarrand treffen sollen, gegen das Hornhautbild der Pupille verlaufen lassen, während solche, welche von der wirklichen Pupille in den Glaskörper gelangen, ihre Richtung in diesem von dem Linsenbilde der Pupille nehmen würden. Diese Pupillenbilder sind vergrössert, was natürlich auch den Strahlenverlaut ändern würde, wenn es hier auf solche Genauigkeit ankäme. Das Linsenbild der Pupille ist um etwa $^1/_{18}$ vergrössert und um 0·113 *mm* nach hinten gerückt, während die Pupille durch die Hornhaut um $^1/_7$ vergrössert und um 0·578 *mm* vorgerückt erscheint.*) Solche geringe Differenzen können hier vernachlässigt werden. Ich habe deshalb die Pupille in ihrer wirklichen Lage 3·6 *mm* hinter der vorderen Cornealfläche angenommen und bei den Constructionen benützt.

Die zweite Frage ist die nach der Lichtmenge, welche bei den einzelnen Untersuchungsmethoden und Beleuchtungsarten ins Auge eindringt.

Die Lichtstärke des von einem Spiegel gebildeten Flammenbildes hängt ab: 1. Von der Lichtstärke der Lichtquelle. 2. Von der Entfernung derselben vom Spiegel. 3. Vom Durchmesser des Spiegels. Dies gilt für den Fall, dass die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen durch Spiegelung oder Brechung keinen merklichen Verlust erleiden. Erfolgt aber ein solcher Verlust wie bei dem Helmholtz'schen Beleuchtungsapparate mit unbelegten Glasplatten, dann wird dem entsprechend auch die Lichtstärke des Flammenbildes eine geringere sein. Auch bei den durchbohrten belegten Spiegeln ist natürlich die Grösse des Spiegelloches von dem Flächeninhalte der reflectirenden Fläche in Abzug zu bringen. Für die Lichtstärke der Lichtquelle und den Durchmesser des Spiegels können wir bestimmte constante Grössen annehmen, so dass nur die Entfernung der Flamme von dem Spiegel variabel bleibt.

Für die belegten Spiegel kann man also sagen: Die Lichtstärke des von ihnen entworfenen Flammenbildes ist verkehrt proportionirt dem Quadrate der Entfernung der Flamme vom Spiegel, sobald wir den Flächeninhalt der spiegelnden Fläche und die Intensität der Lichtquelle als constant annehmen. Das Licht, welches vom Helmholtz'schen Beleuchtungsapparate geliefert wird, ist ceteris paribus immer bedeutend geringer.

Betrachten wir nun die Lichtmenge, welche das untersuchte Auge trifft. Setzen wir eine bestimmte Intensität des durch einen Spiegel vor dem Auge erzeugten Flammenbildes voraus, so wird natürlich umsomehr Licht auf das Auge treffen können, je näher das Flammenbild sich

*) Siehe Helmholtz physiol. Optik, II. Aufl., S. 126.

an dem Auge befindet. Auch hier wird die Lichtmenge verkehrt proportional dem Quadrate der Entfernung des Flammenbildes zunehmen.

Da aber nicht alles Licht, welches zum Auge gelangt, auch durch die Pupille tritt, so ist das Verhältnis von Wichtigkeit, in welchem die Pupille zu der Breite des von dem Flammenbilde ausgehenden Strahlenkegels steht. Darauf muss aber die Grösse des Flammenbildes von Einfluss sein. Je grösser unter sonst gleichen Verhältnissen z. B. ein Flammenbild, das in einer bestimmten Entfernung vor dem Auge liegt, ist, desto divergenter werden die Strahlen auf das Auge des Beobachteten fallen und desto weniger Licht wird in das Auge eindringen können. Dagegen ist es wohl denkbar, dass das Flammenbild im Verhältnisse zum Spiegeldurchmesser und zu seiner Entfernung vom Spiegel und vom Auge eine solche Grösse hat, dass alles von ihm ausgehende Licht durch die Pupille in das Augeninnere kommt. Es lässt sich aber hiefür keine allgemeine Regel aufstellen, indem dies von der Brennweite des Spiegels, der Entfernung der Lichtquelle vom Spiegel und endlich der Entfernung des Flammenbildes vom Auge abhängt.

Fällt convergentes Licht auf das Auge, liegt also das vom Spiegel gelieferte Flammenbild hinter dem Auge, dann wird das Auge von der ganzen Lichtmenge, welche das Flammenbild enthält, beleuchtet. Es wird dabei desto mehr Licht in die Pupille eintreten, je kleiner das Flammenbild bei gleichbleibender Lichtstärke desselben ist.

Es muss ferner die durch die Pupille gehende Lichtmenge bei grösserem Querschnitte der Pupille oder des beleuchteten Theiles der Pupille wachsen. Die Lichtmenge, welche schliesslich auf die Netzhaut gelangt, nimmt also bei sonst gleichen Verhältnissen zu mit dem Querschnitte der Pupille oder des beleuchteten Theiles der Pupille, nimmt aber ab mit dem Quadrate der Entfernung der Pupille von der Retina. Diese Entfernung wurde entsprechend der Länge des schematischen Auges (22·8 *mm*) und der früher erwähnten Tiefe der vorderen Kammer mit 19·2 *mm* angenommen.

Die Intensität, mit der aber ein Punkt der Netzhaut erleuchtet ist, wird desto geringer sein, je grösser der Flächenraum ist, über den das durch die Pupille einfallende Licht auf dem Augenhintergrunde verbreitet wird, d. h. je grösser das Flammenbild ist, das scharf oder in Zerstreuungskreisen auf der Netzhaut erscheint.

Allen Berechnungen der Grösse der Flammenbilder wurde die Breite der Flamme eines Gasrundbrenners u. zw. zu 28 *mm* zu Grunde gelegt. Wohl ist die Höhe der Flamme meist bedeutend grösser, auch fast doppelt so gross, doch ist diese Grösse sehr inconstant.

Bei den Constructionen habe ich den Durchmesser der belegten Plan- oder Concavspiegel gleich 3 *cm* gezeichnet.

Noch sei bemerkt, dass ich die beiden Knotenpunkte, wenn dieselben bei den Constructionen benöthigt wurden, in einen Punkt 7 *mm* hinter der vorderen Fläche der Cornea zusammenfallen liess, während ich die beiden Hauptpunkte an einen Ort 2·0 *mm* hinter der vorderen Fläche der Hornhaut verlegte. Es ist dies wohl bei den hier in Betracht kommenden Verhältnissen eine erlaubte Ungenauigkeit.

I. Das umgekehrte Bild.

Die Stärke der Convexlinse, mit welcher das umgekehrte Bild erzeugt wird, sei in allen Fällen 20 D.

Es gibt bekanntlich eine bestimmte Entfernung derselben vom untersuchten Auge, bei der das Gesichtsfeld die grösste Ausdehnung hat. Helmholtz*) sagt hierüber, dass der Pupillarrand ganz aus dem Gesichtsfelde verschwindet, sobald er in die Nähe des Brennpunktes der Linse kommt. Jetzt wird also das Gesichtsfeld nur von der Apertur dieser Letzteren bestimmt. Es heisst ausdrücklich: »in die Nähe des Brennpunktes«. In der That hat auch Ulrich**) nachgewiesen, dass die Distanz zwischen Linse und Pupille des beobachteten Auges etwas grösser sein muss als die Brennweite. Ich habe den Brennpunkt immer mit dem Hornhautscheitel zusammenfallen lassen, obwohl strenge genommen bei gleichbleibender Pupillenweite, gleichem Durchmesser der Spiegelbohrung und gleichem Durchmesser der Linse der richtige und beste Abstand der Linse vom Auge noch von der Entfernung des Spiegels von der Linse abhängt (Ulrich l. c.)

Der Durchmesser der üblichen Convexlinsen pflegt 35 *mm* zu sein. Ein solcher wurde in Rechnung gezogen.

Bezüglich der sonstigen Verhältnisse — Brennweite des Spiegels, Entfernung desselben von der Lampe, Durchmesser des Spiegels — stellt Helmholtz***) folgende Grundsätze auf: Um einen möglichst grossen Theil der Netzhaut zu erleuchten, muss von jedem Theile der Linse Licht auf jeden Theil der Pupille fallen. »Diese Bedingung wird aber erfüllt sein, wenn die Pupille des beobachteten Auges gleich oder kleiner als das Bild ist, welches die Linse in der Nähe der Pupille von dem Spiegel entwirft und von jedem Punkte dieses Spiegels Licht auf jeden Theil der Linse fällt. Das Letztere wird aber wiederum geschehen, wenn die Linse an dem Orte steht, wo der Spiegel das Bild der Lampenflamme entwirft und

---

*) Physiol. Optik, II. Aufl. S. 219.

**) Ulrich, das ophthalmoskopische Gesichtsfeld. Zehenders klinische Monatsblätter 1881.

***) Physiol. Optik, II. Aufl, S. 221.

die Linse gleich oder kleiner als dieses Bild ist«. Als Beispiel führt Helmholtz den Fall an, dass der Spiegel von der Linse (von 60 *mm* Brennweite), 210 *mm* entfernt ist und 25 *mm* Durchmesser hat. Die Pupille sei künstlich auf 10 *mm* erweitert, der Durchmesser der Lampenflamme = 15 *mm*. Dann soll, um die obigen Bedingungen zu erfüllen, der Spiegel eine Brennweite von 70 *mm* haben und die Lampenflamme muss 105 *mm* vom Spiegel abstehen. Rechnen wir zu den 210 *mm* (Abstand des Spiegels von der Linse) noch 60 *mm* (Abstand der Linse vom Auge), so ergibt sich. dass der Spiegel 270 *mm* vom untersuchten Auge liegt. Es ist also die Lichtquelle dem Spiegel um sehr viel (165 *mm*) näher als das beobachtete Auge und dieses muss folglich vom Lampenlichte direct getroffen werden.

Man kann sich aber leicht überzeugen, dass diese Stellung der Lichtquelle nicht praktisch ist. Es enthalten auch alle Lehrbücher der Ophthalmoskopie die Angabe, man solle die Lampe so anbringen, dass das Lampenlicht nicht direct das Auge treffen kann (Siehe Mauthner (11), S. 123). Der Grund hiefür liegt hauptsächlich darin, dass die Pupille sich sonst zu stark verengt. Allerdings hat Helmholtz seine Berechnung für eine künstlich erweiterte Pupille angestellt. Man untersucht aber gewöhnlich ohne künstliche Pupillenerweiterung.

Hat die Linse eine Brennweite von 50 *mm*, so wird, der Abstand der Linse vom Auge zu 50 *mm* gerechnet, die Distanz des Spiegels vom untersuchten Auge mindestens 25 *cm* betragen müssen. Die Flamme muss also wenigstens etwa 30 *cm* vom Spiegel entfernt sein. Nur ein stärker myopischer Untersucher könnte noch näher an das Auge kommen. Würden wir nun bei dieser Entfernung der Lichtquelle von dem Concavspiegel diesem eine Brennweite von 70 *mm* geben, so würde das Bild 91 *mm* vor dem Spiegel, somit 109 *mm* von der Linse zu liegen kommen. Ist aber das Flammenbild so weit von der Convexlinse und ist es ausserdem so klein wie in diesem als Beispiel gewählten Falle (8·5 *mm*) und so nahe dem Spiegel, so wird das Licht so stark diffundirt, dass nur verhältnismässig wenig davon in die Pupille gelangt, die Beleuchtung des Augeninneren somit eine sehr ungenügende ist.

In Wirklichkeit bleiben nun die meisten nicht myopischen Untersucher mit dem Spiegel noch weiter von der Linse und damit auch von der Lampe entfernt. Die Lichtquelle wird auch aus einem anderen Grunde nicht so nahe hinter und so nahe neben dem zu untersuchenden Auge postirt. Die von der Flamme ausstrahlende Hitze wird nämlich bei so grosser Nähe dem Patienten sehr unangenehm. Stellt man aber die Lampe auch nur etwas zur Seite, so dass ihr Licht nicht direct das Auge treffen kann, so wird hierdurch schon die Entfernung vom Spiegel grösser. In praxi findet man die Entfernung zwischen Spiegel und Lampenflamme gewöhnlich 50—60 *cm*.

Nehmen wir an, dass der Beobachter sich in einem solchen Abstande vom untersuchten Auge befindet, dass das verkehrte Bild des Augenhintergrundes 25 *cm* von seinem Auge entfernt liegt, so muss der Spiegel bei emmetropischem Baue des untersuchten Auges 30 *cm* von der Linse entfernt sein, da ja das verkehrte Bild im Brennpunkte der Linse entsteht. Es sind dann 35 *cm* vom Spiegel bis zum beobachteten Auge und da die Lampe etwas hinter dem Auge und seitlich davon aufgestellt ist, etwa 50 *cm* vom Spiegel zur Lichtquelle. Dies stimmt auch mit der eben angegebenen Entfernung, wie man sie in Wirklichkeit findet.

Es ist klar, dass man unter diesen Umständen mit Spiegeln von der oben angenommenen kurzen Brennweite wegen der dann stattfindenden starken Diffusion des Lichtes nicht untersuchen kann. Eben deswegen sind zur Beobachtung im verkehrten Bilde Concavspiegel von 16—18 *cm* Focaldistanz im Gebrauche. Ich habe bei den folgenden Berechnungen und Constructionen einen solchen von 18 *cm* Brennweite angenommen. Das von einem solchen Spiegel entworfene Flammenbild liegt dann bei den soeben angegebenen Entfernungen 2 *cm* vor der Convexlinse.

Auch das andere Postulat, welches Helmholtz aufstellt, nämlich dass die ganze Linse von dem durch den Concavspiegel erzeugten Flammenbilde überdeckt wird, ist nicht zu erreichen. Wenn auch das Flammenbild wirklich mit der Linse zusammenfällt, was in Wirklichkeit durchaus nicht immer der Fall ist, so ist, wie oben auseinandergesetzt, doch immer die Entfernung der Lampe vom Spiegel grösser als die zwischen Linse und Spiegel. Das Bild der Flamme ist also immer ein verkleinertes. Nehmen wir nun die Breite der Flamme zu 28 *mm*, den Durchmesser der Linse zu 35 *mm* an, so ist hieraus schon ersichtlich, dass nur ein Theil der Linse vom Flammenbilde eingenommen wird. Es kann also auch dann, wenn die Linse in der Gegend der Pupille ein Bild des Spiegels erzeugt, nicht Licht von jedem Punkt der Linse auf jeden Punkt der Pupille fallen.

Da die für den Ort des Flammenbildes maassgebenden Factoren sehr wechseln, so fällt thatsächlich das Flammenbild bald vor, bald in, bald hinter die Convexlinse. Daraus resultirt aber natürlich eine verschiedene Incidenz der Strahlen ins Auge. Es sind nun dabei folgende Fälle möglich:

1. Das Flammenbild liegt vor dem vorderen Brennpunkte der Linse und durch diesen wird ein Bild jenseits der Linse entworfen. Nun fallen die Strahlen convergent auf das Auge und der dioptrische Apparat des Auges erzeugt ein Bild vor der Retina. Die dieselbe treffenden Strahlen, oder genauer gesagt Strahlenbündel, sind also divergent.

2. Es befindet sich das Flammenbild im vorderen Brennpunkte der Linse, dann fällt ein scharfes Flammenbild auf die Retina.

3. Das Flammenbild kommt zwischen vorderen Brennpunkt der Convexlinse und deren optisches Centrum zu liegen. Jetzt treffen die davon ausgehenden Strahlen die Linse sehr divergent und werden von ihr zu einem virtuellen Bilde auf der Seite gegen den Beobachter (auf der negativen Bildseite) vereinigt. Die brechenden Medien des Auges bilden nun ein Flammenbild hinter der Retina. Ebenso entsteht ein Flammenbild hinter der Retina, wenn das Flammenbild vom Spiegel sich mit der Linse deckt.

4. Treffen die vom Spiegel ausgehenden Strahlen die Linse convergent, würde also bei Verlängerung der Strahlen durch die Linse hindurch das Flammenbild auf der anderen Seite der Linse entstanden sein, mit einem Worte wird die Objectdistanz (das vom Spiegel entworfene Flammenbild als Object angesehen) negativ, dann entsteht durch die Linse ein Bild dieses Flammenbildes zwischen Linse und Auge. So lange der Ort dieses letzten Bildes vor dem vorderen Brennpunkte des Auges liegt, so muss das Bild, das vom Auge erzeugt wird, ebenfalls hinter der Retina situirt sein.

In den Fällen 2, 3 und 4 fallen convergente Strahlenbündel auf den Fundus.

5. Sobald die Convexlinse ein Flammenbild im vorderen Brennpunkte des Auges entwirft, so wird der Glaskörper von parallelen Strahlenbündeln durchsetzt.

6. Wenn aber durch die Linse ein Bild der Flamme innerhalb der vorderen Brennweite des Auges entsteht, so werden die jetzt sehr stark divergent auf die Cornea kommenden Strahlen durch die brechenden Medien des Auges nur weniger divergent gemacht werden können – es entsteht durch das Auge ein virtuelles Flammenbild vor dem Auge. Die Netzhaut wird jetzt von divergenten Strahlen getroffen.

Bei der gewöhnlichen Art der Untersuchung kommen allerdings nur die ersteren Möglichkeiten in Betracht. Da ich aber auch die anderen Verhältnisse zur Beobachtung der dabei sich zeigenden Veränderungen der Reflexe absichtlich hervorgerufen habe, so müssen wir auch diese besprechen.

In dem ersten der eben citirten Fälle ist die geringste Entfernung zwischen Spiegel und Lampe etwa 50 *cm*. Um nun behufs besseren Vergleiches der Lichtstärke ein Flammenbild von constanter Grösse und Intensität zu haben, wurde diese Entfernung auch für die anderen Fälle beibehalten. Freilich rückt man gewöhnlich nicht die Lampe weiter zurück, sobald man sich mit dem Spiegel der Convexlinse nähert, doch ist die ganze Darstellung viel einfacher, wenn die Lichtquelle immer in derselben Distanz vom Reflector sich befindet. Die Abweichungen, welche sich dann einstellen, sobald diese Bedingung nicht eingehalten wird, werden natürlich auch erörtert werden.

Aus dieser Objectdistanz von 50 *cm* resultirt ein Abstand des Flammenbildes von dem Spiegel = 281 *mm* und eine Grösse desselben von 15·75 *mm*.

Der Uebersicht wegen seien hier noch die für die folgenden Betrachtungen stets beibehaltenen Grössen zusammen angeführt:

Durchmesser des Concavspiegels	= 30	*mm*.
Brennweite des Concavspiegels.	= 180	*mm*.
Durchmesser der Flamme	= 28	*mm*.
Entfernung des Spiegels von der Lampe .	= 500	*mm*.
Entfernung des Flammenbildes vom Spiegel	= 281	*mm*.
Grösse des Flammenbildes.	= 15·75	*mm*.
Brennweite der Convexlinse	= 50	*mm*.
Abstand der Linse vom Hornhautscheitel .	= 50	*mm*.
Durchmesser des Spiegelloches	= 3	*mm*.

Den Berechnungen ist das reducirte Auge von Listing zu Grunde gelegt.

Die früher angeführten Fälle sind im Folgenden zusammengefasst nach dem Strahlenverlaufe im Glaskörper u. zw. nach der Beschaffenheit der Strahlenbündel als divergente, convergente oder parallele. Wäre das Flammenbild ein punktförmiges, so würden auch die gesammten Strahlen die Retina in dieser Weise treffen. Da das Flammenbild aber körperlich ist, so können natürlich von mehreren Strahlenbündeln ausgehende Strahlen einen Punkt der Netzhaut treffen. So werden z. B., wie später gezeigt werden soll, auch bei Strahlenbündeln mit parallelen Strahlen die einzelnen Punkte des Augenhintergrundes von convergenten Strahlen getroffen.

Zunächst mögen die Verhältnisse beim Einfalle des Lichtes in der Richtung der optischen Axe auseinander gesetzt werden. Daran schliesst sich die Betrachtung der Veränderungen, welche sich durch einen Einfall des Lichtes in anderer Richtung ergeben.

A. Das Licht fällt in der Richtung der optischen Axe ein.

a) Divergente Strahlenbündel.

Das Flammenbild liegt z. B. 6 *cm* vor der Convexlinse, also 1 *cm* vor ihrem Brennpunkte. Die Entfernung zwischen Spiegel und Linse beträgt somit 34·1 *cm*. In Fig. 1 ist der Strahlenverlauf von dem Spiegel zur Linse bei diesen Verhältnissen in $^1/_2$ der natürlichen Grösse dargestellt. (Die folgenden Figuren wurden in natürlicher Grösse entworfen und dann

verkleinert. Die mittleren Partien von Strahlen von grösserer Länge, sind meist der Raumersparniss wegen weggelassen). SS ist der Spiegel, FF das Flammenbild, L die Convexlinse.

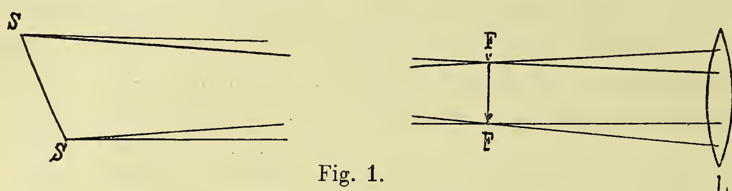


Fig. 1.

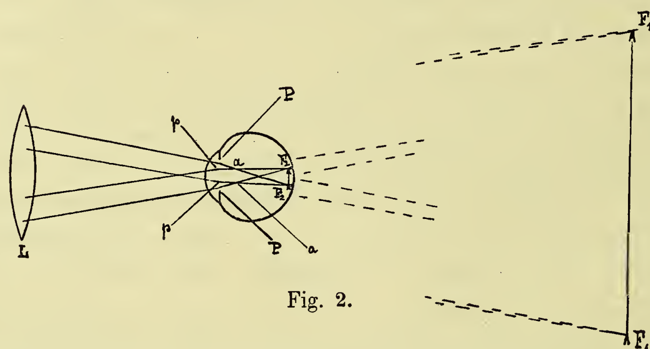


Fig. 2.

In Fig. 2 erblicken wir gleichsam die Fortsetzung der Fig. 1. F_1F_1 ist in Fig. 2 das Bild, welches die Linse von FF in Fig. 1 entwirft. F_1F_1 ist mit Beziehung auf das Flammenbild verkehrt, also aufrecht wie die Flamme selbst. Es liegt 30 *cm* hinter L und ist 78·75 *mm* gross.

Von F_1F_1 erzeugt das Auge ein gleichgerichtetes Bild in F_2F_2, das in der Entfernung von 1·1 *mm* vor der Retina im Glaskörper liegt und 4·46 *mm* im Durchmesser hat. Bis PP reicht die 8 *mm* weite Pupille, bis pp eine solche von 3·5 *mm* Durchmesser.

Wir sehen also, dass bei enger Pupille die ganze Pupille von jedem einzelnen Strahlenbündel eingenommen wird; bei weiter Pupille sind die Strahlenbündel in ihrem Querschnitt kleiner als die Pupille und überkreuzen sich hinter derselben.

Das Bild des Spiegelloches liegt 58 *mm* hinter der Linse und ist 0·51 *mm* gross. Das Bild, das das Auge von diesem Bild entwirft, ist 1 *mm* weiter vorn also 13 *mm* von der Retina gelegen und hat 0·34 *mm* im Durchmesser.

Ueber die Lichtmenge, die in das Auge eintritt, lässt sich Folgendes aussagen: Das von FF ausgehende Licht trifft in seiner Gänze auf die Linse L. Das zum Auge kommende Lichtquantum ist also abhängig von der Entfernung von FF bis zum Auge. In dieses aber kommt bei weiter Pupille alles Licht, bei enger dagegen nur ein Theil. Der Flächeninhalt des beleuchteten Netzhautbezirkes ist natürlich etwas grösser als das im Glaskörper liegende Bild, da die Strahlen von diesem divergiren.

b) Convergente Strahlenbündel.

Liegt FF im vorderen Brennpunkte der Linse, dann entsteht bekanntlich auf der Netzhaut ein scharfes Flammenbild. Ich habe diesen Fall nicht durch eine Figur dargestellt, da das Verhalten dabei sich leicht aus Fig. 2 ableiten lässt. Je näher das Flammenbild FF (Fig. 1) dem Brennpunkte rückt, desto weiter rückt F_1F_1 (Fig. 2) hinaus und desto grösser wird es. Die Grösse des beleuchteten Netzhautbezirkes wird sich dabei nicht wesentlich ändern. Von den Endpunkten des Flammenbildes FF gehen nämlich auch Strahlen aus, welche parallel der optischen Axe verlaufen und somit durch die Linse in ihrem hinteren Brennpunkt vereinigt werden. Auf diesen Strahlen liegen auch die Bilder von F und F, nämlich F_1 und F_1. Da wir vorausgesetzt haben, dass FF immer die gleiche Grösse hat, so werden diese der optischen Axe parallel verlaufenden, von den Punkten F und F kommenden Strahlen die Linse immer in derselben Entfernung von der optischen Axe treffen, also nach ihrer Brechung durch die Linse auch denselben Winkel einschliessen, gleichviel in welcher Entfernung FF von der Linse liegt.

Es nimmt also die Grösse von F_1F_1 in demselben Verhältnisse zu, als es sich nach rückwärts von dem Auge entfernt und es wird folglich auch der beleuchtete Netzhautbezirk fast ganz dieselbe Grösse behalten. Dagegen wird das Flammenbild nur dann ganz scharf auf der Retina entstehen, wenn FF (Fig. 1) im vorderen Brennpunkt der Linse liegt. In allen anderen Fällen wird das Flammenbild auf dem Augenhintergrunde in Zerstreuungskreisen abgebildet, der beleuchtete Netzhautbezirk somit um den Halbmesser der Zerstreuungskreise grösser sein.

Befindet sich dann weiter das Flammenbild, das der Spiegel entwirft, zwischen der Linse und deren vorderem Brennpunkt, dann liegen die Verhältnisse so wie es die Figur 3 zeigt.

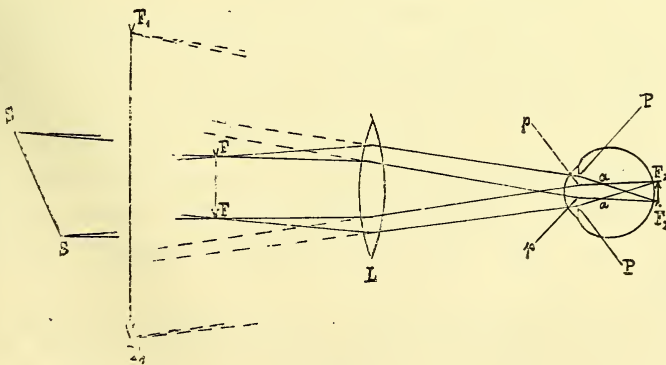


Fig. 3.

FF, das verkehrte Bild der Flamme wäre 4 *cm* von der Linse L entfernt. Dann ist der Abstand des jetzt virtuellen, von der Linse gebildeten, in Beziehung zur Flamme verkehrten Bildes F_1F_1 20 *cm* vor L.

Dieses Bild ist 78·75 *mm* gross und ist nun wieder für das dioptrische System des Auges der Gegenstand, von dem dieses ein Bild F_2 F_2 1·27 *mm* hinter der Retina und von 5·0 *mm* Grösse entwirft. Da FF jetzt näher dem Auge liegt als in Fig. 1 und 2, so ist die Lichtmenge, welche in das Auge gelangt, grösser, umsomehr da eben wie dort kein Verlust vor dem Einfallen des Lichtes auf die Linse stattfindet und da bezüglich des Lichteinfalles bei weiter und enger Pupille (pp und PP) fast genau die gleichen Verhältnisse bestehen wie in jenem Falle. Auch der beleuchtete Theil der Retina ist nahezu gleich gross.

Das Bild des Spiegelloches liegt 59 *mm* hinter der Linse und hat einen Durchmesser von 0·55 *mm*.

Nähert sich nun FF der Linse immer mehr, so kommt auch F_1F_1 näher und wird eine immer geringere Vergrösserung zeigen. Gleichzeitig rückt F_2F_2 weiter hinter die Retina und wird grösser, aber auch nur in demselben Maasse, als es sich vom hinteren Brennpunkt des Auges entfernt. Auch hier gilt also die frühere Auseinandersetzung, wonach der beleuchtete Netzhautbezirk nur durch die Zerstreuungskreise grösser wird.

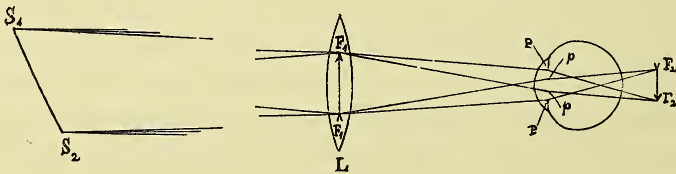


Fig. 4.

Sobald FF in Fig. 1 mit dem optischen Centrum der Linse zusammenfällt, so entsteht auch hier das von der Linse entworfene Bild und deckt sich mit FF (Fig. 4). Die zu den Punkten F_1 und F_1 vom Spiegel her verlaufenden Strahlen werden durch die Linse jetzt so zusammengebrochen, dass alles Licht in die Pupille gelangt. Von F_1F_1 entsteht durch das Auge ein 8·5 *mm* hinter der Netzhaut liegendes und 7·8 *mm* grosses Bild F_2F_2. Dieses Bild kann allerdings in Wirklichkeit nicht ganz mit dem optischen Centrum der Convexlinse zusammenfallen. Das Bild der Flamme eines Rundbrenners muss auch eine gewisse Ausdehnung in der Richtung der optischen Axe der Convexlinse haben, so dass immer ein Theil des Flammenbildes vor oder hinter das optische Centrum der Linse zu liegen kommt.

Das Bild des Spiegelloches liegt 60 *mm* hinter der Linse und ist 0·64 *mm* gross. Von diesem Bild erzeugt das dioptrische System des Auges ein Bild, das 12 *mm* vor der Retina sich befindet und 0·38 *mm* gross ist.

Ist der Abstand zwischen Spiegel und Linse geringer als zwischen Spiegel und Flammenbild, so rückt das von der Linse entworfene mit dem Flammenbild des Spiegels gleichgerichtete Bild in den Zwischenraum zwischen Linse und Auge und ist verkleinert. Dabei nimmt die Lichtmenge, die auf die Retina gelangt, noch mehr zu.

---

c) Parallele Strahlen.

Liegt das Flammenbild, nachdem das Licht die Linse passirt hat, im vorderen Brennpunkte des Auges (13·7 *mm* vor dem Hornhautscheitel), dann kommen parallele Strahlenbündel auf den Fundus.

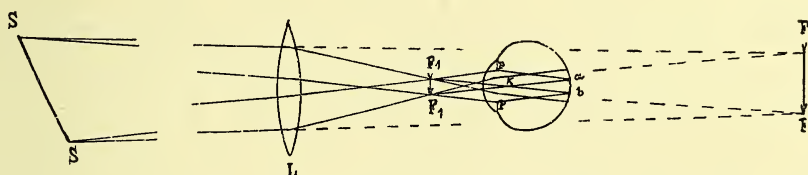


Fig. 5.

In Fig. 5 ist FF die Lage des von dem Spiegel entworfenen Bildes. Die Linse ist 148·6 *mm* vom Spiegel entfernt, so dass das Flammenbild 132·4 *mm* jenseits der Linse entstehen würde. Durch diese werden nun die gegen FF convergirenden Strahlen noch convergenter gemacht, so dass in 36·3 *mm* von der Linse das Bild F_1F_1 entsteht, welches ebenfalls ein verkehrtes Bild der Lichtquelle ist. Dieses liegt also 13·7 *mm* von der Hornhaut, somit im vorderen Brennpunkte des Auges und hat die Grösse von 4·3 *mm*.

Die Richtung der von den Endpunkten des Bildes in den Glaskörper tretenden parallelen Strahlenbündel kann leicht gefunden werden, wenn man von F_1 und F_1 die durch den Knotenpunkt K gehenden Strahlen zieht. Der beleuchtete Theil der Retina ist also recht gross, er misst etwa 7 *mm* im Durchmesser.

Das Bild, das die Linse vom Spiegelloch erzeugt, liegt 75 *mm* hinter der Linse und ist 1·5 *mm* gross. Davon entwirft das Auge ein Bild, das 7·5 *mm* vor der Retina liegt und 0·56 *mm* gross ist.

Die Lichtmenge, die jetzt zum Augenhintergrunde gelangt, ist eine sehr bedeutende. Die gesammten Lichtstrahlen, welche das Flammenbild FF bilden, werden durch die Linse zu einem Bilde vereinigt, welches in unmittelbarer Nähe des Auges sich befindet und alle seine Strahlen durch

die erweiterte Pupille in's Auge sendet. Allerdings wird diese Lichtmenge über eine grössere Fläche verbreitet, doch ist aus der Figur ersichtlich, dass die centralen Partien dieser beleuchteten Area der Netzhaut von a bis b besonders stark beleuchtet sind, indem dorthin Strahlen von jedem Punkte des Flammenbildes F_1F_1 gelangen.

Die Beobachtung des verkehrten Bildes unter diesem Strahleneinfalle ist allerdings für einen emmetropischen Beobachter meist nur mittels stärkerer Convexlinsen möglich, da ja das verkehrte Bild des Fundus in grosser Nähe des beobachteten Auges liegt (98·6 *mm* vor demselben).

Im Vorhergehenden wurde, wie schon oben bemerkt, stets derselbe Abstand der Lampe vom Spiegel beibehalten. Geschieht dies nicht, sondern wird die Lichtquelle an demselben Orte belassen, während man sich mit dem Spiegel dem untersuchten Auge nähert, so wird die Lichtstärke des verkehrten Flammenbildes mit der Annäherung des Spiegels an das Auge zunehmen, zugleich aber auch der Abstand dieses Flammenbildes vom Spiegel. Infolge dessen wird es keiner so bedeutenden Abnahme des Abstandes zwischen Spiegel und Linse bedürfen, damit das Flammenbild an den Ort der Linse oder in den vorderen Brennpunkt des Auges falle. Die ganze Reihe der verschiedenen Lagerungen des Bildes zum Auge wird rascher durchlaufen werden Natürlich wird auch das weiter vom Spiegel liegende Flammenbild grösser werden, wenn die Lichtquelle dem Spiegel näher liegt.

B. Das Licht fällt nicht in der Richtung der optischen Axe in das Auge.

Es ist zunächst möglich, dass das Licht nicht in der Richtung der optischen Axe des Auges einfällt, sondern in der Richtung einer Nebenaxe (eine solche stellt die Gesichtslinie dar). Dabei wird aber das Flammenbild im Augenhintergrunde gegen früher seinen Ort ändern, seine Mitte wird temporalwärts vom hinteren Ende der optischen Axe sich befinden, sobald wir das Licht in der Richtung einer Nebenaxe, deren vorderes Ende nasalwärts von der optischen Axe liegt, ins Auge werfen. Diese Fälle werden uns hier nicht besonders beschäftigen, denn einmal resultirt hieraus meist keine bedeutende Aenderung des Strahleneinfalles auf kleine Stellen der Netzhaut, wie wir weiter unten sehen werden, und dann werden bei etwas grösseren Verschiebungen des Flammenbildes am Fundus früher beleuchtet gewesenen Theile überhaupt nicht mehr vom Lichte getroffen.

Dagegen können bei einer weiteren Pupille die Lichtstrahlen auch so ins Auge gelangen, dass nur ein Theil der Pupille vom Lichte durchsetzt wird. Das Flammenbild ändert hierbei seinen Ort auf der Retina fast gar nicht.

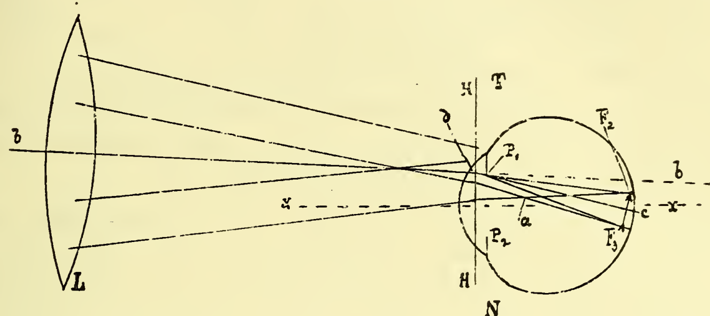


Fig. 6.

In Fig. 6 sind dieselben Verhältnisse wie in Fig. 2 in natürlicher Grösse (mit Weglassung von F_1F_1) wiederholt, nur dass das Licht bloss durch die temporale Hälfte der Pupille (N = nasal; T = temporal) einfällt: Es sei vorausgesetzt, dass die Mitte des Spiegelloches mit der optischen Axe der Linse zusammenfällt, während die optische Axe der Linse mit der optischen Axe des Auges einen Winkel bildet, dessen Scheitel aber nicht im Knotenpunkte des Auges liegt. bb wäre die optische Axe der Convexlinse, in welcher die Lichtstrahlen einfallen und in deren Verlängerung die Mitte des durch die Linse entworfenen Bildes (F_1F_1 in Fig. 2) zu denken ist. Wenn wir nun bb als Strahlenbündel ansehen und seinen Verlauf nach der Brechung durch das Auge verfolgen, so trifft er in c die Retina. (Die Construction wurde in der bekannten Weise gemacht, indem man vom Durchschnittspunkte des Strahles mit der vorderen Brennebene eine Linie gegen den Knotenpunkt zieht und dann von d, dem Durchschnittspunkte des einfallenden Strahles mit der Hauptebene HH, [beide Hauptebenen in eine zusammenfallend gedacht] eine Parallele zu der von der Brennebene gegen den Knotenpunkt gehenden Linie legt). 1·1 *mm* vor c liegt die Mitte des Bildes F_2F_3.

Der Strahlenverlauf nach diesem Bilde hin zeigt, dass von den die Linse verlassenden und gegen F_3 gerichteten Strahlenbündeln nur ein sehr schmaler Theil in die Pupille gelangt, während ein ungleich grösserer Theil der zur Bildung von F_2 bestimmten Strahlen auch wirklich dorthin kommt. In dem Flammenbilde nimmt also die Lichtstärke seiner einzelnen Theile von der nasalen Seite gegen die temporale zu, während natürlich die gesammte Lichtstärke des Flammenbildes im Vergleiche zu jener beim Lichteinfalle in der Richtung der optischen Axe des Auges abgenommen hat.

Der Ort des Flammenbildes hat sich aber nur sehr wenig geändert; dasselbe liegt jetzt etwas mehr nasalwärts.

Betrachten wir Fig. 3 und Fig. 4, so werden wir sehen, dass auch bei convergent auf die Retina gelangenden Strahlen die Verhältnisse ganz ähnliche sind, sobald die Strahlen in der vorher erwähnten Weise schief in das Auge fallen. Immer wird beim Einfalle des Lichtes von der einen Seite ein Theil der zu dem an derselben Seite liegenden Ende des Flammenbildes gehenden Strahlen abgehalten, während das entgegengesetzte Ende des Flammenbildes eine weit grössere Lichtstärke hat.

Nun kann aber auch eine Schrägheit des Strahleneinfalles auf eine andere Weise bewirkt werden. Der Spiegel und das Auge wären so zu einander gelagert, dass das Licht in der Richtung der optischen Axe des Auges eintreten würde. Das optische Centrum der Convexlinse

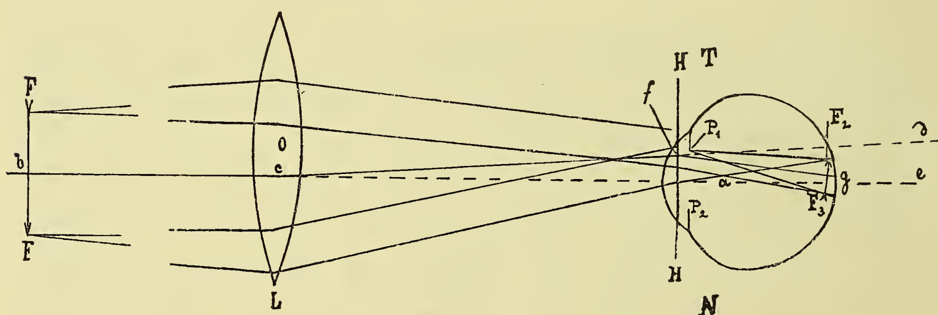


Fig. 7.

sei aber nach der Seite, beispielsweise nach der temporalen Seite verschoben. FF (Fig. 7) ist das verkehrte, vom Spiegel erzeugte Flammenbild, O das optische Centrum der Linse; bce sei die verlängerte optische Axe des Auges. Der von der Mitte des Flammenbildes FF, von b ausgehende, in der verlängerten optischen Axe des Auges verlaufende Strahl bc wird durch die Linse L nach d gebrochen. Er trifft in f die Hauptebene des Auges (wiederum beide Hauptebenen in eine zusammenfallend und 2·0 *mm* hinter dem Hornhautscheitel liegend gedacht). Von dort wird dieser Strahl durch den dioptrischen Apparat des Auges in seiner Richtung so verändert, dass er nach g auf die Retina gelangt. 1·1 *mm* davor liegt die Mitte des Flammenbildes F_2 F_3. Dasselbe ist jetzt etwas temporalwärts verschoben und auch hier besteht ein Unterschied in der Beleuchtung desselben, insofern als nach F_3 weniger Strahlen gelangen, als nach F_2. Doch ist dieser Unterschied bedeutend geringer als bei Fig. 6.

Auch bei parallelem Strahleneinfalle kann die Richtung und Menge des zur Retina gelangenden Lichtes durch eine Aenderung der Lage des Spiegels und der Convexlinse alterirt werden.

Fig. 8.

Nehmen wir an (Fig. 8), dass die optische Axe der Linse, auf der auch die Mitte der Spiegelbohrung liegt, mit der optischen Axe des Auges einen solchen Winkel einschliesse, dass das Licht blos durch eine Hälfte der Pupille, die nasale einfalle. F_1F_2 ist das verkehrte Flammenbild, das etwa in der vorderen Brennebene des Auges entsteht. Wenn wir wieder einen von F_1 durch K gehenden Strahl ziehen, um die Richtung des Strahlenbündels im Glaskörper zu finden, so ergiebt sich, dass das Strahlenbündel, das von F_1 ausgeht, die Netzhaut in ab trifft. Die von F_2 kommenden Strahlen gelangen nur zu einem kleinen Theile in die Pupille und in ac auf den Augenhintergrund. Strahlen, die zur Umgebung von b (dem hinteren Ende der optischen Axe) gerichtet sind, können von F_1 kommend, nur einen kleinen ganz peripheren Theil der Pupille zunächst deren nasalem Rand durchsetzen. Auch Strahlen von anderen Punkten des Flammenbildes F_1F_2 treten, wenn sie die Umgebung von b treffen sollen, durch diese periphere Partie der Pupille ein. Sie werden mit den Strahlen von F_1 unter sehr spitzen Winkeln convergiren.

Die Lichtstärke des Flammenbildes — in ihrer Gesammtheit wieder geringer als beim geraden Strahleneinfalle — wird gegen b hin zunehmen, weil dort mehr und mehr Strahlenbündel übereinander fallen.

Einen ähnlichen Effect wird eine Verschiebung der Linse zur Seite haben, während der Spiegel ruhig so gehalten wird, dass das Licht ohne Linse in der Richtung der optischen Axe in das Auge eintreten würde.

Dreht man hingegen den Spiegel so, dass sich die Lage der Mitte des Spiegelloches vor dem untersuchten Auge nicht ändert und hält die Convexlinse dabei vollkommen ruhig, so wird die Aenderung des Strahleneinfalles ins Auge davon abhängen, ob das verkehrte, vom Spiegel gelieferte Flammenbild vor oder hinter der Convexlinse liegt. Befindet es sich vor dem Brennpunkte der Linse (Fig. 1 und 2), dann wird bei einer Drehung des Spiegels nach rechts das Flammen-

bild FF (Fig. 1) auch nach rechts wandern, F_1F_1 aber nach links, also in entgegengesetzter Richtung. Es wird also eventuell bei einer starken Drehung nicht mehr die ganze Pupille von Licht erfüllt sein, sondern nur ein Theil derselben wie in Fig. 6 und 7. Bei einer Drehung des Spiegels, beispielsweise in der Richtung gegen die Nasenseite des untersuchten Auges wird sich FF ebenfalls gegen die Nasenseite, F_1F_1 also gegen die Schläfenseite bewegen. Daraus folgt, dass dann das Licht in dem nasalen Theile der Pupille verschwinden wird. Das Gleiche muss geschehen, wenn das Flammenbild FF (Fig. 3) innerhalb der Brennweite der Convexlinse liegt. Es wird sich FF und F_1F_1 in derselben Richtung bewegen, das Licht auf dem Auge aber in entgegengesetzter Richtung.

Ist der Spiegel so nahe der Convexlinse, dass nun das Flammenbild FF hinter die Convexlinse zu liegen kommt, — wie in Fig. 5, — so wird bei einer Drehung des Spiegels, welche dem Flammenbilde FF eine Bewegung in einer gewissen Richtung mittheilt, das von der Linse entworfene Flammenbild F_1F_1 diese Bewegung in demselben Sinne mitmachen. Ebenso wird auch der von F_1F_1 ausgehende Strahlenkegel sich in dieser Richtung verschieben. Dreht man also den Spiegel so, dass FF sich gegen die Nasenseite des untersuchten Auges bewegt, so wird auch F_1F_1 gegen die Nasenseite gehen. Hat die Excursion von F_1F_1 einen gewissen Grad erreicht, so bleibt ein Theil der Pupille, u. zw. derjenige, welcher ihrem temporalen Rande nahe liegt, dunkel.

C. Aenderung des Lichteinfalles bei Ametropie.

Wir haben auf Seite 13 als die gewöhnlichen bei Emmetropie des untersuchten Auges vorkommenden Abstände angeführt: Spiegel — Lampe = 50 *cm*, Spiegel - Convexlinse = 30 *cm*. Dabei liegt das Flammenbild zwischen Spiegel und Convexlinse 2 *cm* vor dieser.

Besteht nun M y o p i e, dann liegt das verkehrte Bild des Augengrundes nicht mehr im Brennpunkte der Convexlinse, sondern innerhalb der Brennweite derselben, eventuell selbst zwischen Convexlinse und Auge. Will der Beobachter das Bild wieder 25 *cm* vor seinem Auge haben, dann muss er sich der Convexlinse mit dem Spiegel nähern, wobei natürlich auch der Abstand zwischen Spiegel und Lampe verringert wird. Damit rückt aber das vom Spiegel entworfene Flammenbild desto rascher gegen das Auge des Untersuchers und wird sehr bald das optische Centrum der Convexlinse erreichen oder auch zwischen Linse und Auge liegen.

Es hat jetzt das vom Spiegel entworfene Flammenbild nicht immer dieselbe Grösse, es wird vielmehr bei Annäherung des Spiegels an die Flamme immer grösser, allerdings auch im Ganzen immer lichtstärker. Sobald die Lampe den Abstand von 36 *cm* vom Spiegel hat, ist das Flammenbild ebenfalls 36 *cm* vom Spiegel entfernt und gleich gross wie die Flamme. Bei noch geringerem Abstande zwischen Spiegel und Flamme würde das Flammenbild noch grösser werden. Es wird aber nicht einmal die Entfernung von 36 *cm* erreicht. Dieses würde eine Abnahme von 14 *cm* gegen die Entfernung bei Emmetropie bedeuten. Wenn wir nun annehmen, dass auch die Entferung zwischen Spiegel und Linse um diese Distanz kleiner würde (was natürlich nicht genau ist, da Spiegel, Convexlinse und Lampenflamme nicht in derselben Geraden liegen), so wäre dann der Spiegel blos 16 *cm* von der Linse gelegen. Behalten wir 25 *cm* als den Abstand des verkehrten Bildes der Netzhaut vom untersuchten Auge bei, so kann der Spiegel nicht so nahe an die Linse gelangen.

Die Vergrösserung des Flammenbildes, welches vom Spiegel entworfen wird, hat natürlich zur Folge, dass auch das von der Convexlinse gelieferte Flammenbild grösser ist als in den früheren Betrachtungen, wo wir die Entfernung des Spiegels von der Flamme immer 50 *cm* sein liessen. Es wird also umso weniger Licht von diesem grossen Flammenbilde die Pupille treffen, das im Fundus beleuchtete Feld also weniger Licht erhalten. Man kann sich hievon leicht überzeugen, wenn man zuerst Spiegel, Lampe und Convexlinse in der früher für Emmetropie angegebenen Lage aufstellt und die Grösse der beleuchteten Fläche auf dem äusseren Auge betrachtet. Nähert man sich dann mit dem Spiegel, ohne die übrigen Abstände zu ändern, so wird diese beleuchtete Fläche immer grösser und grösser, so dass immer weniger von dem Lichte des Flammenbildes in die Pupille dringen kann. Dabei wird aber auch das vom dioptrischen System des Auges erzeugte Flammenbild nicht proportional seiner Entfernung von der Retina, sondern in stärkerem Grade wachsen und damit der beleuchtete Theil des Fundus grösser und in seinen einzelnen Theilen schwächer beleuchtet werden.

Ein weiterer Umstand, der eine schwächere Beleuchtung des myopischen Auges bewirkt, ist, sobald es sich um Axenmyopie handelt, die grössere Länge der Augenaxe. Durchsetzt in zwei Augen die gleiche Lichtmenge die Pupille, so kommt in jenem Auge mehr Licht zur Retina, das die kürzere Axe hat. Die Lichtintensität nimmt ja im verkehrten Verhältnisse zum Quadrate der Entfernung der Pupille von der Netzhaut ab. Diese Abnahme wird allerdings nicht wesentlich mitspielen. Denn die Entfernung des Flammenbildes vom Auge wechselt in weiteren Grenzen als dass die verhältnissmässig geringeren Unterschiede in der Länge der Bulbusaxe merklich in Betracht kommen könnten.

Bei Hypermetropie entsteht das verkehrte Bild des Augenhintergrundes vor dem vorderen Brennpunkte der Convexlinse. Der Beobachter muss sich also mit dem Spiegel von der Convexlinse und von der Lampe entfernen, um das Bild wieder in 25 *cm* vor sich zu haben. Es liegt jetzt das vom Spiegel erzeugte Flammenbild entweder noch innerhalb der Brennweite der Convexlinse, jedoch näher dem Brennpunkte derselben als früher oder selbst vor dem Brennpunkte. Dabei dringt der grösste Theil, ja selbst alles Licht, das vom Spiegel kommt, in die Pupille, wie man leicht sehen kann, wenn man sich mit dem Spiegel aus der oben für Emmetropie angegebenen Lage durch Entfernung des Spiegels von der Lampe heraus begibt. Wir haben also jetzt eine kleinere Fläche der Netzhaut, aber in ihren einzelnen Punkten verhältnismässig stärker beleuchtet. Das Flammenbild auf dem Augenhintergrunde erscheint schärfer, der beleuchtete Netzhautbezirk also auch in seinen peripheren Partien besser erleuchtet.

Es erklärt sich hieraus auch folgende Beobachtung, die schon lange bekannt ist: Untersucht man myopische und hypermetropische Augen im verkehrten Bilde, so wird man wahrnehmen, dass man den Fundus bei den hypermetropischen Augen viel deutlicher in seinen Details erkennen kann und dass man auch viel leichter im Stande ist, Papille und Macula auf einmal ins Gesichtsfeld zu bekommen. Dobrowolsky*) hat, um dies zu erklären, Versuche mittels eines künstlichen Auges gemacht, bei welchem eine die Papille und Macula darstellende Zeichnung bald vor, bald hinter den Focus gebracht wurde. Er fand, dass bei Hypermetropie eine kleinere Fläche am Fundus stärker, bei Myopie eine grössere Fläche in ihren einzelnen Theilen erheblich schwächer beleuchtet ist. Die Erklärung, warum dies der Fall, ist in dem Vorigen enthalten. Da nun, sagt Dobrowolsky, die Papille und die Macula sowohl bei Myopie als bei Hypermetropie in der beleuchteten Fläche liegen, da aber diese bei Hypermetropie kleiner und stärker beleuchtet, bei Myopie grösser und schwächer beleuchtet ist, so muss man, da die Helligkeit vom Centrum nach der Peripherie in der beleuchteten Fläche abnimmt, die Macula, sobald sie bei gleichzeitiger Einstellung von Papille und Macula mehr gegen die Peripherie der beleuchteten Fläche liegt, bei Myopie weniger leicht und deutlich wahrnehmen können. Es wäre noch hinzuzufügen, dass gerade bei Myopie die Verhältnisse derartig sind, dass, wie wir sahen, diese Abnahme der Beleuchtung gegen die peripheren Theile der beleuchteten Partie der Retina eine stärkere ist als bei Hypermetropie.

---

*) Dobrowolsky, Zur Lehre von den verschiedenen Grössen und Beleuchtungsgraden des Gesichtsfeldes bei der Untersuchung hypermetropischer und myopischer Augen im verkehrten Bilde. — Ueber das Verhältnis der Macula lutea zum Sehnerven. Bericht der Heidelberger Versammlung 1871. Zehenders klin. Monatsblätter 1871.

Dobrowolsky berechnet dann nach der von Helmholtz angegebenen Formel ($v = \frac{u. y}{p}$, (u sei der Diameter der Linse; p sei die Brennweite der Linse; y sei die Entfernung vom hinteren Knotenpunkte zur Netzhaut) das Gesichtsfeld für die einzelnen Grade von Myopie und Hypermetropie. Da nun bei der Haltung der Convexlinse zum Auge die Strahlen von der Pupille und nicht vom Knotenpunkte divergiren, so führt D. in einer zweiten Reihe von Berechnungen statt der Entfernung des Knotenpunktes von der Netzhaut den Abstand der Pupille von der Netzhaut ein. Das Resultat dieser Berechnungen ist bei beiden Arten, dass das Gesichtsfeld bei Myopie grösser ist als bei Emmetropie und bei Emmetropie wiederum grösser als bei Hypermetropie. D. überträgt aber diese so gefundenen Maasse direct auf die beleuchtete Fläche. Dies geht deshalb nicht an, weil der Theil des Hintergrundes, den wir im verkehrten Bilde in horizontaler Richtung (oft auch in verticaler) übersehen können, durch die Breite (respective Höhe) des Flammenbildes bestimmt wird (siehe Ulrich l. c.) Wir müssen das Flammenbild durch Drehungen des Spiegels auf der Netzhaut wandern lassen, um den ganzen Bereich der Netzhaut zu untersuchen, den wir auf einmal sehen würden, falls das Flammenbild das ganze Gesichtsfeld einnehmen würde.

Es liegt deshalb nicht in der verschiedenen Grösse des Gesichtsfeldes die Erklärung für das oben erwähnte Verhalten, sondern in der verschiedenen Grösse und Beschaffenheit des Zerstreuungsbildes der Flamme auf der Netzhaut bei Myopie und Hypermetropie.

---

2. Das aufrechte Bild.

Bei der Untersuchung im aufrechten Bilde befindet sich der Spiegel bekanntlich in grosser Nähe vor dem beobachteten Auge. Die Distanz zwischen Spiegel und Auge soll dabei, um ein genügendes Gesichtsfeld zu erhalten, möglichst gering sein. (Nur bei hypermetropischem Brechzustande des betreffenden Auges kann sie auch mehrere Centimeter betragen.) Wir wollen nun annehmen, dass der Spiegel sich im vorderen Brennpunkte des Auges befinde. Damit werden wir uns einerseits nicht allzusehr vòn der Wirklichkeit entfernen und andererseits unsere Betrachtungen sehr vereinfachen. — Der Durchmesser der Flamme soll wie früher 28 *mm* betragen.

Während wir es bei der Besprechung der Verhältnisse beim verkehrten Bilde blos mit dem Concavspiegel, u. zw. einem solchen von grösserer Brennweite zu thun hatten, kommen hier verschiedene Spiegelarten in Betracht, die für das verkehrte Bild wegen der zu geringen von ihnen gelieferten Beleuchtung untauglich sind. Der Helmholtz'sche Beleuchtungsapparat mit planparallelen Glasplatten, der belegte Planspiegel und der Concavspiegel von kürzerer Brennweite von 8—10 *cm*, wie er von Parent für die Untersuchung im aufrechten Bilde empfohlen worden ist.

Bei allen belegten, durchbohrten Spiegeln werden wir in Folge des geringen Abstandes des Spiegels vom Auge auch untersuchen müssen, inwiefern das Spiegelloch auf den Strahleneinfall ins Auge Einfluss nimmt. Der Durchmesser des Spiegels kann hier, da er stets grösser ist als die Pupille, nicht in Betracht kommen.

Die zur Retina gelangende Lichtmenge wird nach denselben Grundsätzen wie beim verkehrten Bilde beurtheilt werden müssen. Es wird aber von dem Spiegel nur ein ziemlich kleiner centraler Theil zur Beleuchtung des Augeninneren verwendet, welcher bei den durchbohrten Spiegeln noch durch das Spiegelloch vermindert wird. Die Beleuchtungsintensität der beleuchteten Netzhautpartie wird also bei der Methode des aufrechten Bildes im Allgemeinen eine geringere sein, als im verkehrten Bilde. Wir können nur sagen: Im Allgemeinen, denn unter gewissen Verhältnissen kann auch die Beleuchtung im aufrechten Bilde eine stärkere sein als jene, welche bei einer bestimmten Grösse der in Rechnung zu ziehenden Factoren im verkehrten Bilde erreicht wird.

Wir wollen nun die einzelnen Spiegelarten der Reihe nach durchgehen u. zw. zunächst für den Fall, dass das Licht in der Richtung der optischen Axe einfällt.

A. Das Licht fällt in der Richtung der optischen Axe ein.

a) Der Helmholtz'sche Beleuchtungsapparat.

Derselbe besteht bekanntlich aus einer Anzahl (gewöhnlich 3) übereinandergelegten planparallelen Glasplatten. Es wird von demselben ein virtuelles, hinter dem Spiegel gelegenes aufrechtes Flammenbild entworfen, das sich 30 *cm* hinter dem Spiegel befindet, sobald die Lichtquelle in diesem Abstande vor dem Spiegel ihren Ort hat. Das vom Auge entwor-

fene Flammenbild liegt also 1 *mm* hinter der Retina oder 16 *mm* hinter dem Knotenpunkte (des reducirten Auges), hat also die Grösse von 1·4 *mm*.

Da dieser Spiegel nicht durchbohrt ist, so reflectirt die gerade der Pupille gegenüber befindliche Fläche Licht. Es hat infolge dessen jeder Strahlenkegel, der von der Pupille zu den einzelnen Punkten des hinter der Netzhaut gelegenen Flammenbildes hinstrebt, an seiner Basis den Querschnitt der Pupille.

Von den spiegelnden Glasplatten wird natürlich nicht alles Licht reflectirt, es tritt vielmehr ein Theil desselben durch sie hindurch. Helmholtz*) berechnet, dass die Helligkeit der beleuchteten Netzhautstelle sowohl mit dem belegten Planspiegel als auch mit dem Helmholtz'schen Spiegel dieselbe sein kann, sobald man ohne Anwendung von Atropin untersucht, jedoch nur für den Fall, dass die Pupille bei der Untersuchung mit beiden Spiegeln gleich weit wäre und dass der Spiegel die Hälfte des auffallenden Lichtes zurückwerfe. Die letztere Bedingung wird dann erreicht, wenn das Licht unter einem passenden Winkel auf den Spiegel einfällt. Dieser Winkel ist nach Helmholtz für eine Platte 70°, für 3 Platten 60°, für 4 Platten 56°. In Wirklichkeit ist nun aber die Pupille beweglich. Deshalb sagt Helmholtz: »Der belegte Spiegel wirft aber im Ganzen mehr Licht in das beobachtete Auge, blendet es stärker und die Pupille verengt sich mehr, so dass unter diesen Umständen der unbelegte Spiegel ein grösseres Gesichtsfeld und eine grössere Helligkeit geben kann.«

Soll der Einfallswinkel des Lichtes die angegebene Grösse haben, so müssen auch die Glasplatten in entsprechender Weise schräg gestellt sein. Bei Anwendung von 3 Glasplatten müssten diese mit der optischen Axe des Instrumentes einen Winkel von 30° bilden*). Das ist auch bei dem von Helmholtz selbst construirten Spiegel der Fall. Der grosse Winkel, unter dem das von der Lichtquelle ausgehende Licht auf den Spiegel fallen soll, bedingt aber eine solche Aufstellung der Lampe, dass ohne besondere Vorrichtung das Licht derselben direct auf das Auge des Beobachteten fallen würde Deshalb rathet auch Helmholtz, »durch einen undurchsichtigen Schirm, das Auge des Beobachteten zu beschatten.« Bei den meisten anderen Spiegeln aber, denen der Helmholtz'sche Beleuchtungsapparat beigegeben ist, ist der Winkel der Glasplatten mit der optischen Axe des Spiegels ein um vieles grösserer. So beträgt er z. B. bei dem Jäger'schen Spiegel nicht weniger als 60°. Dies hat allerdings die Folge, dass wir die Lampe dann in der gewöhnlichen Weise seitlich und

*) Helmholtz, physiol. Optik. II. Aufl. S. 222.

**) In der Beschreibung, die Helmholtz (phys. Optik S. 223) von einem Spiegel mit 3 Glasplatten gibt, ist der Winkel, den sie mit der optischen Axe des Spiegels bilden, als 56° angegeben. Es ist dies, wie aus den obigen Einfallswinkeln und der von Helmholtz beigegebenen Zeichnung ersichtlich ist, ein Druckfehler.

etwas hinter dem beobachteten Auge aufstellen können. Doch muss die Beleuchtung des Augeninneren dadurch bedeutend abnehmen, da nun nicht mehr die Hälfte des auffallenden Lichtes von dem Spiegel reflectirt wird. In der That kann man sich überzeugen, dass unter diesen Umständen die Lichtstärke des Bildes, das wir von der Netzhaut des untersuchten Auges erhalten, immer eine sehr viel geringere ist, als beim Gebrauch des belegten und durchbohrten Planspiegels. Diese geringe Beleuchtung wurde ja von Jäger gerade als ein Vortheil dieses Spiegels hervorgehoben.

Die Lichtstärke des vom Spiegel erzeugten Flammenbildes wird wieder verkehrt proportional dem Quadrate der Entfernung der Lichtquelle vom Spiegel zunehmen. (Wir können uns bei einem Planspiegel, durch welchen die Divergenz der auf ihn fallenden Strahlen gar nicht geändert wird, auch einfach die Flamme in demselben Abstande, den sie von dem Spiegel hat, vor dem Auge liegend denken.)

Die zur Retina gelangende Lichtmenge wird desto grösser sein, je weiter die Pupille ist.

Bei Annäherung der Flamme an den Spiegel wird das vom Auge entworfene Flammenbild hinter der Netzhaut an Grösse zunehmen und sich mehr und mehr von der Retina entfernen. Die grössere nun zum Augenhintergrunde tretende Lichtmenge wird also über einen grösseren Flächenranm vertheilt werden.

---

b) Der Planspiegel.

Wir wollen annehmen, dass der Durchmesser des Loches eines belegten Planspiegels 3 *mm* wäre. Vor diesem Spiegelloche muss, wie wir schon oben erwähnt haben, eine Stelle dunkel bleiben. Wirft man nun mit einem solchen Spiegel das Licht einer Lampenflamme aus nächster Nähe auf eine Fläche, so erscheint innerhalb der vom Spiegel beleuchteten Scheibe ein runder, ziemlich scharf begrenzter Schatten. Entfernt man den Spiegel von der Fläche, so wird dieser Schatten an den seitlichen Rändern bald undeutlich begrenzt, weiter verdoppelt sich derselbe, es entstehen zwei scheibenförmige, nebeneinanderliegende Schatten, die sich mit ihren gegeneinander gekehrten Partien zum Theile bedecken, an welcher Stelle ein dunkler Schatten entsteht. Bei noch grösserem Abstande des Spiegels von der beleuchteten Fläche trennen sich die beiden Schatten vollständig und werden immer grösser und verwaschener. Da wir nun beim aufrechten Bilde stets mit dem Spiegel uns

in grosser Nähe des untersuchten Auges befinden, so können wir von diesen durch Beugung hervorgerufenen Erscheinungen absehen und uns auf die Betrachtung jenes intensiven Schattens beschränken, den man bei geringem Abstande des Spiegels von der beleuchteten Fläche wahrnimmt.

Es sei F_1F_2 (Fig. 9) das Flammenbild, SS der Spiegel, l_1l_2 das Spiegelloch, so entsteht vor dem Spiegel ein Kernschatten in Kegelform l_1l_2c,

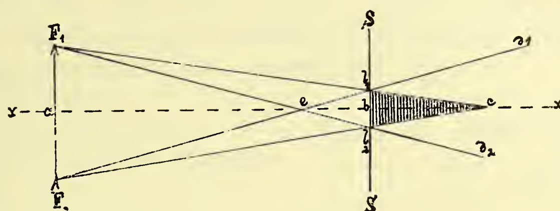


Fig. 9.

ausserdem aber noch ein Halbschatten (l_1d_1, l_2d_2), der die Form eines abgestutzten Kegels hat, dessen Spitze zwischen dem Spiegel und dem Flammenbilde in e liegen würde. Es lässt sich nun die Länge des Kernschattens bc leicht berechnen. $F_1F_2 = 28$ *mm*; $l_1l_2 = 3$ *mm*; ab = 300 *mm*. Es verhält sich nun bc : (ab + bc) = $l_1l_2 : F_1F_2$, somit also $bc = \frac{l_1l_2 . ab}{F_1F_2 - l_1l_2}$

die obigen Werthe eingesetzt: $bc = \frac{300 . 3}{28 - 3} = 36.$

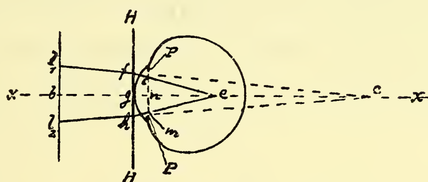


Fig 10.

Liegt nun, wie wir vorausgesetzt haben, der Spiegel im vorderen Brennpunkte des Auges, so ist, wenn wir das reducirte Auge der Berechnung zu Grunde legen, das Bild der Spitze des Schattenkegels c 8·3 *mm* vor der Netzhaut im Glaskörper.

Es handelt sich nun darum, die Breite dieses Schattenkegels innerhalb der Pupille zu bestimmen. Strahlen, die von der hinteren Hauptebene des schematischen Auges ausgehen, treffen auf ihrem Wege zur Retina die Pupille. Wenn wir nun das reducirte Auge herbeiziehen wollen, so müssen wir zunächst finden, wohin wir die Pupille des reducirten Auges zu verlegen haben. Zu diesem Zwecke können wir nach dem

Vorgange von Stammeshaus*) in folgender Weise verfahren: Die hintere Hauptebene des schematischen Auges liegt 20·713 *mm* vor der Retina (die hintere Brennweite des Auges). Wenn wir nun auch hier wieder aus den früher angegebenen Gründen die wirkliche Pupille statt des Linsenbildes der Pupille annehmen, so ist der Abstand derselben von dem hinteren Brennpunkte des schematischen Auges = 19·2 *mm*. Nun ist die Hauptebene des reducirten Auges im Hornhautscheitel, 20 *mm* vom hinteren Brennpunkte. Wollen wir die Pupille im reducirten Auge an jene Stelle bringen, wo ihre Wirkung dieselbe wäre, wie im schematischen Auge, so müssten wir die Entfernung der Hauptebene des reducirten Auges von dem hinteren Brennpunkte, d. i. die hintere Brennweite des reducirten Auges durch die Pupille nach demselben Verhältnisse theilen wie im schematischen Auge. Es muss sich also die Entfernung x der Pupille im reducirten Auge vom hinteren Brennpunkte aus folgender Proportion ergeben:

20·7: 19·2 = 20 : x; x = 18·55. Daraus folgt die Entfernung der Pupille im reducirten Auge von der Hauptebene = 1·45 *mm*.

Wir hätten also zunächst zu berechnen, wie breit der Schattenkegel in der Hauptebene des Auges ist. Es ist in Fig. 10: cg: bc = fh: $l_1 l_2$; cg = bc — bg. bg ist die vordere Brennweite des reducirten Auges = 15 *mm*; somit cg = 21. Wenn wir die übrigen schon früher aufgestellten Werthe einsetzen, so ist fh = 1·75

Auf ähnliche Weise können wir nun auch weiterhin den Durchmesser des Schattenkegels in der Pupillarebene finden. In Fig. 10 ist gn nach dem Vorigen = 1·45; ne = 18·55 (Abstand der Pupille vom hinteren Brennpunkte) — 8·3 (Abstand des Punktes e vom hinteren Brennpunkte); ne also 10·25 *mm*; ge = 20 (hintere Brennweite des Auges) — 8·3 = 11·7. Dann haben wir die Proportion: ne: ge = im: fh und daraus: im = 1·53 *mm*.

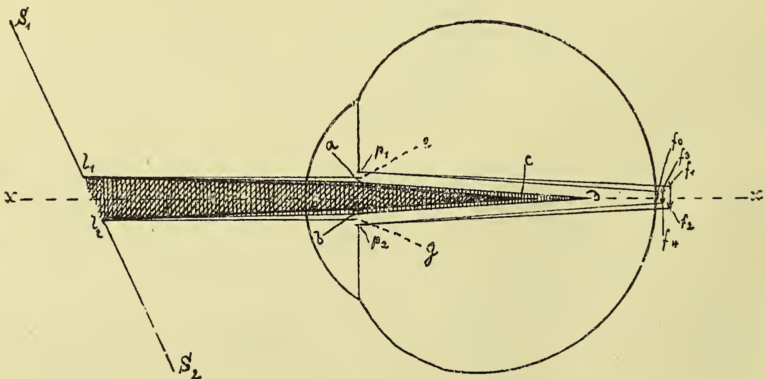


Fig. 11.

*) Stammeshaus, über eine Methode, dem aufrechten Bilde eine stärkere Vergrösserung zu ertheilen, sowie über die Grösse des Gesichtsfeldes bei der Untersuchung im aufrechten Bilde. Zehenders klin. Monatsblätter, XII. Band.

Die Fig. 11 zeigt diese Verhältnisse in zweifacher Vergrösserung. S_1S_2 ist der Spiegel, l_1l_2 das Spiegelloch; die Pupille p_1p_2 ist in Wirklichkeit 3·5 *mm* weit. c ist die Spitze des Schattenkegels im Glaskörper, f_1f_2 das hinter der Retina liegende Flammenbild.

Es wäre nun der Abstand des Spiegels von der Flamme nicht 30, sondern 60 *cm*. Dann liegt das vom Auge entworfene Flammenbild f_3f_4 0·5 *mm* hinter der Netzhaut und hat die Grösse von 0·7 *mm*. Die Länge des Schattenkegels vor dem Spiegelloche ist jetzt 72 *mm* und die Spitze seines Bildes (d) liegt 4·16 *mm* vor der Retina. Sein Durchmesser in der Pupille (ab) ist 2·0 *mm*.

Die auf das Auge auffallende Lichtmenge muss natürlich im ersten Falle bei dem geringeren Abstande des Spiegels von der Lichtquelle eine grössere sein. Auch ist die Breite jenes ringförmigen Theiles der Pupille, durch den die Lichtstrahlen ins Auge treten, infolge der geringeren Breite des Schattenkegels grösser, wenn der Abstand des Spiegels von der Flamme nur 30 *cm* beträgt. Dagegen ist zu bedenken, dass die Pupille im zweiten Falle eben wegen der geringeren Lichtmenge, die der Spiegel reflectirt, weiter bleiben wird, so dass der Querschnitt des Theiles der Pupille, welcher von Licht erfüllt ist, jetzt selbst grösser sein kann als bei kleiner Distanz zwischen Spiegel und Lampe. Jedenfalls muss bei grösserer Entfernung des Spiegels von der Lichtquelle das Licht, welches den Augenhintergrund erreicht, in Folge des kleineren Flammenbildes f_3f_4 über eine kleinere Partie der Netzhaut verbreitet erscheinen. Mit der Zunahme der Entfernung der Lichtquelle vom Spiegel nimmt auch der Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille zu, die Entfernung seiner Spitze von der Retina ab.

Bei erweiterter Pupille werden natürlich die Strahlen zu den Flammenbildern f_1f_2 oder f_3f_4, von den Rändern der weiten Pupille ihren Ausgang nehmen. Gleichzeitig wird eine bedeutend grössere Menge von Licht ins Auge gelangen.

Helmholtz*) hat als »normale Helligkeit« einer Netzhautstelle jene Helligkeit bezeichnet, »welche der betreffenden Netzhautstelle zukommen würde, wenn das beobachtete Auge frei nach dem Körper blickend auf ihr ein Bild dieses Körpers entwürfe«. Dabei ist natürlich die ganze Pupille des Auges von dem einfallenden Lichte durchsetzt. Bei der Beleuchtung mit dem Augenspiegel muss dagegen ein Theil des von der Netzhautstelle reflectirten Lichtes zur Pupille des Beobachters gehen. Der übrige Theil kehrt zur Lichtquelle zurück und nur dieser ist es, welcher für die Beleuchtung der Netzhautstelle in Betracht kommt. Ist nun P der Querschnitt der Pupille des beobachteten Auges, p in dieser Pupille der Querschnitt des letzteren Strahlenbündels (das zur Lichtquelle zurückkehrt) und H die nor-

*) l. c. Seite 214.

male Helligkeit, so haben wir, wenn wir i die Helligkeit der Netzhautstelle beim Ophthalmoskopiren nennen, i : H = p : P und daraus $i = \frac{p}{P} H$.

Dies gilt für einen Spiegel, bei dem durch Spiegelung oder Brechung kein merklicher Verlust an Licht erfolgt. Beim Helmholtz'schen Beleuchtungsapparat ist dies aber der Fall. Es muss der gegebene Ausdruck für die Helligkeit noch modificirt werden. Nehmen wir einen Strahl, der von der Lichtquelle zum untersuchten Auge geht und nennen wir seine Intensität 1, so käme nach Abrechnung des Lichtverlustes α von ihm im Auge an. Nach Helmholtz wäre also die Helligkeit der Netzhautstelle für den Helmholtz'schen Beleuchtungsapparat $i = \alpha \cdot \frac{p}{P} H$.

---

c. Der Concavspiegel.

Wir wollen hier zwei Arten von Concavspiegeln betrachten: einen von 18 *cm* und einen von 8 *cm* Brennweite. Die im Vorigen gemachten Voraussetzungen bezüglich des Abstandes des Spiegels vom Auge und der Grösse des Spiegelloches sollen wieder beibehalten werden.

Da die Entfernung des Spiegels von der Lampe nicht immer die gleiche ist, so können folgende Fälle eintreten:

1. Die Lichtquelle liegt ausserhalb der Brennweite des Spiegels, dann wird von ihm ein verkehrtes, vor dem Spiegel liegendes Bild entworfen. Dieses Bild ist vergrössert, sobald sich die Flamme zwischen Brennpunkt und Krümmungsmittelpunkt des Spiegels befindet und ist verkleinert, sobald der Abstand zwischen Spiegel und Lampe grösser ist als der Krümmungsradius. Von dem Spiegel von 18 *cm* Focaldistanz kann sowohl ein vergrössertes als auch ein verkleinertes Bild geliefert werden, wogegen der Spiegel mit der kurzen Brennweite von 8 *cm* nur ein verkleinertes Flammenbild erzeugen kann, da die Flamme nie weniger als 16 *cm* vom Spiegel entfernt ist.

Auf jeden Fall treffen die Pupille convergente Strahlen, die durch das dioptrische System des Auges noch convergenter gemacht werden, so dass ein ebenfalls verkehrtes Bild der Flamme im Glaskörper vor der Netzhaut entsteht. Nun fallen also divergente Strahlenbündel auf die Retina.

2. Es befindet sich die Lichtquelle im Brennpunkte des Spiegels. Die Strahlen kommen parallel auf das Auge und auf der Netzhaut entsteht ein deutliches verkehrtes Bild der Flamme. Dieser Fall kann nur bei dem

Spiegel von 18 *cm* Brennweite eintreten, da die Flamme nie blos 8 *cm* Abstand vom Spiegel hat. Nun treffen also convergente Strahlenbündel auf den Augenhintergrund.

3. Es könnte die Lampe auch innerhalb der Brennweite des Spiegels stehen, natürlich nur bei dem Spiegel von 18 *cm* Focaldistanz. Dann erzeugt der Spiegel ein virtuelles aufrechtes Bild hinter sich, das Auge davon ein verkehrtes Bild hinter der Retina, es fallen also ebenfalls convergente Strahlenbündel auf die Retina.

4. Wie wir sehen werden, kann man auch — allerdings nur mittels einer besonderen Vorrichtung — parallele Strahlenbündel auf den Augenhintergrund gelangen lassen.

Wir wollen nun diese Fälle, je nachdem divergente, convergente oder parallele Strahlenbündel auf die Netzhaut fallen, gesondert betrachten.

Divergente Strahlenbündel.

1. Der Spiegel hat die Brennweite von 18 *cm* und sei 30 *cm* von der Lampe entfernt.

Dann liegt das Flammenbild 45 *cm* vor dem Spiegel und ist 42 *mm* gross. Um die Art des Strahleneinfalles näher zu erfahren, müssen wir wieder zuerst die Länge des vor dem Spiegelloche befindlichen Schattenkegels bestimmen.

In Fig. 12 ist S_1S_2 wieder der Spiegel, l_1l_2 das Spiegelloch, F_1F_2 das verkehrte Flammenbild. So ist l_1l_2c der dunkle Schattenkegel vor dem Spiegelloche. Es verhält sich offenbar: $l_1l_2 : bc = F_1F_2 : (ab - bc)$ und daraus $bc = \frac{l_1l_2 \, . \, ab}{F_1F_2 + l_1l_2}$ und in unserem Falle $bc = 30$ *mm*.

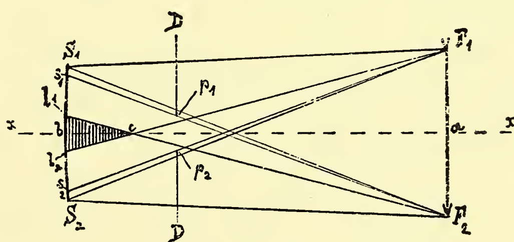


Fig. 12.

Wenn wir in derselben Weise wie früher beim Planspiegel die Breite des Schattenkegels in der Pupille und seine Länge im Glaskörper berechnen, so finden wir, dass die Spitze des Schattenkegels 10 *mm* vor der Retina liegt und dass der Durchmesser des Schattenkegels in der Hauptebene des Auges 1·5 *mm* und in der Pupille 1·28 *mm* ist.

Das Flammenbild, welches durch das Auge gebildet wird, liegt 0·66 *mm* vor dem hinteren Brennpunkte des Auges und ist 1·4 *mm* gross.

2. Setzen wir die Entfernung des Spiegels von der Flamme = 60 *cm* (eine Entfernung, die gewöhnlich nicht vorkommt, die ich aber bei manchen der folgenden Beobachtungen absichtlich so gross genommen habe), so ergibt die Rechnung Folgendes: Entfernung des Flammenbildes vom Spiegel = 25·7 *cm*; Grösse des Flammenbildes = 12 *mm*; Abstand des Flammenbildes im Glaskörper von der Retina = 1·16; Grösse dieses Flammenbildes = 0·7 *mm*. Ferner: Länge des Schattenkegels vor dem Spiegel in der Luft, wenn wir uns das Auge wegdenken = 51·4 *mm*. Abstand der Spitze desselben im Glaskörper von der Netzhaut = 5·8 *mm*; Durchmesser des Schattenkegels in der Hauptebene = 2·1 *mm*; Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille = 1·8 *mm*.

3. Der Spiegel würde 8 *cm* Brennweite haben und 30 *cm* von der Flamme abstehen, dann ist: Spiegel-Flammenbild = 109 *mm*; Grösse des Flammenbildes = 10·18 *mm*; Abstand des Flammenbildes im Glaskörper von der Retina = 2·7 *mm*; Grösse des Flammenbildes im Glaskörper = 1·4 *mm*. Weiter: Länge des Schattenkegels vor dem Spiegelloche in der Luft = 24·8 *mm*; Abstand der Spitze des Schattenkegels im Glaskörper von der Netzhaut = 12·0 *mm*; Durchmesser des Schattenkegels in der Hauptebene = 1·18 *mm*; Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille = 0·96 *mm*.

4. Endlich soll noch der Fall herangezogen werden, wo der Spiegel von 8 *cm* Focaldistanz einen Abstand von 60 *cm* von der Lichtquelle hat.

Bei dieser Voraussetzung ist: Spiegel-Flammenbild = 92·3 *mm*; Grösse des Flammenbildes = 4·3 *mm*; Entfernung des Flammenbildes im Glaskörper von der Retina = 3·2 *mm*; Grösse des Flammenbildes im Glaskörper = 0·7 *mm*; Länge des Schattenkegels in der Luft = 37·9 *mm*; Abstand des Bildes des Schattenkegels von der Retina = 7·9 *mm*; Durchmesser des Schattenkegels in der Hauptebene = 1·8 *mm*; Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille = 1·5 *mm*.

Aus diesen Daten lässt sich ersehen, dass das Flammenbild im Glaskörper im 1. und 3. Falle die gleiche Grösse hat, nur dass es bei 3 weiter vor der Retina liegt. Der Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille ist im 1. Falle grösser, der leuchtende Theil der Pupille also geringer als im 3. Falle. Ebenso ist im 2. und 4. Falle das Flammenbild, das vom Auge entworfen wird, von gleicher Grösse, hat aber im 4. Falle einen grösseren Abstand vom hinteren Brennpunkte des Auges. Der Schatten des Spiegelloches nimmt bei 2 einen grösseren Raum in der Pupille ein als bei 4. Bei gleichem Abstand der Lampe vom Spiegel wird also die Entfernung der Spitze des Schattenkegels von der Netzhaut mit der Ab-

nahme der Brennweite des Spiegels grösser, die Breite des Schattenkegels in der Pupille aber geringer. Ferner wird der Abstand der Spitze des Schattenkegels von der Retina bei dem gleichen Spiegel mit zunehmender Entfernung der Lichtquelle vom Spiegel kleiner, der Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille unter diesen Umständen grösser.

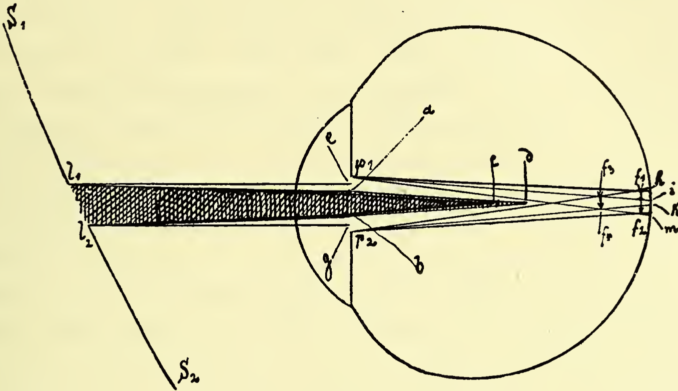


Fig. 13.

In Fig. 13 sind die beiden extremsten Fälle (bezüglich des Flammenbildes im Glaskörper) dargestellt. $l_1 l_2$ ist wiederum das Loch des Spiegels $S_1 S_2$, $p_1 p_2$ die Pupille. Zum Falle 1 gehören die folgenden Bezeichnungen: $f_1 f_2$ = Flammenbild; c = Spitze des Schattenkegels; zu Fall 4 gehört: $f_3 f_4$ = Flammenbild; d = Spitze des Schattenkegels; a b = Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille. Im Falle 1 ist der Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille kleiner, wie aus der Figur ersichtlich ist (der Schattenkegel von Fall 1 ist vertical schraffirt, der von Fall 2 ist schräg schraffirt).

Bezüglich der Lichtmenge, welche bei den oben angeführten Veränderungen in der Brennweite des Spiegels und in der Entfernung desselben von der Lampe ins Auge gelangt, ist Folgendes zu bemerken: Je weiter die Flamme vom Spiegel entfernt ist, desto lichtschwächer ist das Flammenbild im Ganzen. Allerdings ist dieses lichtschwächere Flammenbild kleiner. Ferner ist der Flächenraum jenes Theiles des Spiegels, von dem aus Strahlen in die Pupille gelangen können, wie eine einfache Construction zeigt, aber nur um sehr wenig kleiner. In Fig. 12 wäre $p_1 p_2$ ein Loch in einem Diaphragma; so sind die äussersten Strahlen, die noch durch das Loch hindurchgehen, die Strahlen $s_1 p_1 F_2$ und $s_2 p_2 F_1$, folglich $s_1 s_2$ der Durchmesser jenes Theiles des Spiegels, von dem noch Strahlen in die Pupille kommen. Bestimmt man nun in dieser Weise durch Construction die Grösse des Theiles des Spiegels, von welchem noch Strahlen durch die Pupille treten, für verschiedene Grössen und Abstände des von

dem Spiegel gelieferten Flammenbildes, so zeigt sich, dass $s_1 s_2$ kleiner wird, sobald das Flammenbild bei grösserem Abstande der Lampe vom Spiegel diesem näher liegt und kleiner ist.

Sehen wir zunächst davon ab, dass die Pupille beweglich ist, so wird weiter die das Flammenbild im Glaskörper bildende Lichtmenge abhängen von dem Durchmesser des Schattenkegels. Je weiter der Spiegel aber sich von der Lichtquelle befindet, desto breiter ist der Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille. Dies wäre also ein weiterer Umstand, der die Beleuchtung der Netzhaut bei grösserem Abstande des Spiegels von der Flamme abschwächt. Nun ist aber die Pupille beweglich und ihre Grösse ist bedingt durch die Menge des ins Auge gelangenden Lichtes. Es wird daher die Pupille bei grösserer Entfernung des Spiegels von der Lampe weiter bleiben. Dies bewirkt, dass trotz der Zunahme des Durchmessers des Schattenkegels in der Pupille bei grösserer Entfernung der Lampe vom Spiegel, doch der ringförmige, von Strahlen durchsetzte Theil der Pupillarfläche rings um diesen Schattenkegel herum jetzt ebenso breit, ja auch noch breiter sein kann, als bei kürzerem Abstande der Lichtquelle vom Concavspiegel. Was dies für einen Einfluss auf den Strahlenverlauf zur Retina hat, werden wir später sehen, jedenfalls wird dadurch die ins Auge dringende Lichtmenge vermehrt.

Das Flammenbild im Glaskörper ist bei grösserem Abstande der Lampe vom Spiegel bedeutend kleiner. Indem dieses kleine Bild aber weiter vom hinteren Brennpunkte des Auges liegt, wird die beleuchtete Fläche durch die Divergenz der Strahlen hinter diesem Flammenbilde wieder grösser, aber immer noch nicht so gross wie bei dem grösseren näher an der Retina befindlichen Flammenbilde. (In Fig. 13 hat $f_3 f_4$ dieselbe Grösse wie das Flammenbild im Falle 2, liegt aber viel weiter von der Retina. Denken wir uns $f_3 f_4$ ungefähr in der doppelten Entfernung von dem hinteren Pole als $f_1 f_2$, so haben wir die Verhältnisse wie im Falle 2. Dann ist aber der beleuchtete Netzhautbezirk kleiner als im 1. Falle.) Es lässt sich also im Allgemeinen sagen, dass mit der Annäherung des Spiegels an die Lampe auch die in das Auge dringende Lichtmenge grösser wird, aber auch der beleuchtete Netzhauttheil nimmt zu.

Bezüglich der Lichtintensität ist natürlich auch die Brennweite des Spiegels von Wichtigkeit. Vergleichen wir die Wirkung des Spiegels von 18 *cm* Brennweite mit jener eines Spiegels von 8 *cm* Brennweite, während beide in 30 *cm* von der Lampe sich befinden, so hat das von ersterem entworfene Flammenbild eine Grösse von 42 *mm*, während das Bild des zweiten nur 10·18 *mm* misst. Je kleiner aber das Bild ist, nach dem die vom Spiegel reflectirten Strahlen convergiren, desto mehr Licht kann durch die Pupille in das Auge dringen, desto weniger geht durch Beleuchtung der äusseren Theile des Auges verloren.

Die stärkste Beleuchtung der Pupille würde — zunächst abgesehen von dem Einflusse des Spiegelloches — unter den uns beschäftigenden Fällen der Gebrauch eines Concavspiegels von *8 cm* Brennweite in der Distanz von 30 *cm* von der Lampe geben, die schwächste der Concavspiegel von 18 *cm* Brennweite, wenn die Lichtquelle 60 *cm* entfernt ist. Aber auch die Verhältnisse des Schattenkegels in der Pupille wirken dem nicht entgegen, denn seine Länge und Breite hängt ja von der Grösse des Flammenbildes und seiner Entfernung vom Spiegel ab. Der geringste Durchmesser des Schattenkegels ist zu finden, wenn die Lampe in 30 *cm* vor dem Spiegel von 8 *cm* Focaldistanz liegt, der grösste Durchmesser bei 60 *cm* Abstand der Lampe von dem schwächeren Spiegel.

Der von Helmholtz eingeführte Begriff der normalen Helligkeit einer Netzhautstelle (Siehe Seite 33) kann natürlich bei Beleuchtung durch einen Concavspiegel, sobald dieser convergentes Licht ins Auge wirft, nicht in Anwendung kommen. Denn hier kann sich das Auge für das Bild der Lichtquelle nicht einstellen. Wir müssen also die Helligkeit der Beleuchtung für jeden Fall erst bestimmen. Da es sich hier nur um einen Vergleich zwischen der Helligkeit der Beleuchtung bei den verschiedenen Abständen des Spiegels von der Lampe und bei verschiedener Brennweite des Spiegels handelt, so ist das hiezu Nöthige bereits in dem Vorigen enthalten.

Convergente Strahlenbündel.

Liegt die Lichtquelle 18 *cm* von dem Concavspiegel von 18 *cm* Brennweite, so fallen parallele Strahlenbündel auf das Auge und es entsteht ein scharfes Flammenbild auf dem Augenhintergrunde.

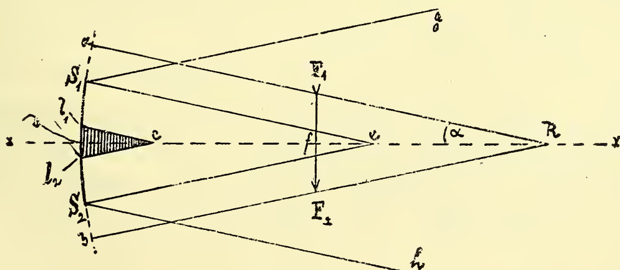


Fig. 14.

S_1S_2 ist der Spiegel, F_1F_2 die Lampenflamme im Brennpunkte des Spiegels, R der Krümmungsmittelpunkt des Spiegels. Die Grösse des

Flammenbildes auf der Netzhaut wird durch diejenigen Strahlen bestimmt werden, welche von den Endpunkten der Flamme ausgehen. Wir finden die Richtung dieser Strahlen, wenn wir die Richtungsstrahlen für die Endpunkte des Flammenbildes durch den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels ziehen. Zu diesem Zwecke müssen wir in unserem Falle die Spiegelebene verlängern. Es geben dann die Strahlen R a und R b die Richtung der von F_1 und F_2 kommenden Strahlenbündel nach ihrer Reflexion am Spiegel an. Die äussersten Strahlen derselben sind die von S_1 und S_2, welche sich in e schneiden würden. Der Winkel, den diese Strahlen einschliessen, ist auch der Winkel, welchen die vom Knotenpunkte zu den Endpunkten des Flammenbildes auf der Netzhaut gehenden Strahlen bilden. Sehen wir adR als Dreieck an und nehmen wir F_1f parallel zu ad, so ist, da $F_1f = 14$ *mm* und $fR = df$ ist, $ad = 28$ *mm*. Im Dreiecke adR ist aber $\operatorname{tg} \alpha = \frac{ad}{R} = \frac{28}{360}$, woraus sich $\alpha = 4^0\ 15'$ ergibt. Denken wir uns nun ein rechtwinkeliges Dreieck, dessen eine Kathete gleich dem Abstande des Knotenpunktes von der Netzhaut, also gleich 15 *mm* und dass der ihr anliegende Winkel $4^0\ 15'$ wäre, so ist die andere Kathete der halbe Durchmesser des Bildes auf der Netzhaut = 1·114 *mm*. Das ganze Flammenbild auf der Retina hat somit eine Grösse von 2·228 *mm*.

Die schiefsten vom Spiegel reflectirten Strahlen, die den Schattenkegel vor dem Spiegelloche begrenzen, sind parallel den Linien aR und bR, so dass die Spitze des Schattenkegels in c liegt. Wenn wir adR als ein Dreieck ansehen, so ist dl_1c ähnlich daR, also $dl_1 : da = l_1c : aR$. Es ist aber $dl_1 = 1{\cdot}5$ *mm*; da = 28 und aR = 360 *mm*. Daraus folgt $l_1c = 19{\cdot}2$. Zwischen l_1c und dc wird natürlich kein grosser Unterschied sein. Wir können ohne grossen Fehler dl_1c als rechtwinkeliges Dreieck betrachten und erhalten dann für cd 19·1 *mm*. Dies ist die Länge des Schattenkegels. Derselbe ist also durch das Heranrücken der Lampe an den Spiegel kürzer geworden.

Die übrigen Punkte ergeben sich durch Rechnung wie folgt: Abstand der Spitze des Schattenkegels von der Retina = 15·7; Durchmesser des Schattenkegels in der Hauptebene = 0·6; Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille = 0·39; dem entsprechend ist auch der Schattenkegel in der Pupille schmäler als in den früheren Fällen bei Gebrauch desselben Spiegels.

Die Beleuchtung der Netzhaut ist jetzt also stärker wie früher bei divergentem Strahleneinfalle, das Flammenbild am Fundus aber auch grösser.

Der Fall, dass die Lichtquelle innerhalb der Brennweite des Spiegels ist, wird kaum je eintreten. Doch lehrt eine einfache Ueberlegung, dass dabei der Schattenkegel vor dem Spiegelloche noch kürzer und also innerhalb der Pupille schmäler werden muss als früher. Es

ist ja dann ein vergrössertes in endlicher Entfernung liegendes Flammenbild, von dem aus die Strahlen divergiren. Das Bild der Flamme, welches das Auge entwirft, wird natürlich jetzt hinter der Retina liegen und sich desto weiter und weiter von ihr entfernen und desto grösser werden, je mehr das Flammenbild des Spiegels heranrückt. Ein grosser Theil des Augenhintergrundes wird jetzt aber in seinen einzelnen Theilen verhältnismässig schwach erleuchtet sein.

Parallele Strahlenbündel.

Mittels der gewöhnlichen Beleuchtungsvorrichtungen des Ophthalmoskops, mit dem einfachen Plan- oder Concavspiegel, sind wir nicht im Stande zu bewirken, dass parallele Strahlenbündel die Netzhaut treffen; dagegen können wir dies in folgender Weise: Wir stellen eine Lampe so auf, dass das von ihr ausgehende Licht durch eine Convexlinse auf einem Planspiegel in der Weise gesammelt wird, dass das von der Linse gelieferte Bild in die Ebene dieses Spiegels fällt. Befindet sich nun der Spiegel in der vorderen Brennebene des Auges, so sind die von dem Flammenbilde divergirenden Strahlen nach ihrer Brechung durch die Medien des Auges parallel.

Ich habe zu diesem Behufe (Fig. 15) 35 *cm* vor einer Linse von 10 *cm* Brennweite und 36 *mm*

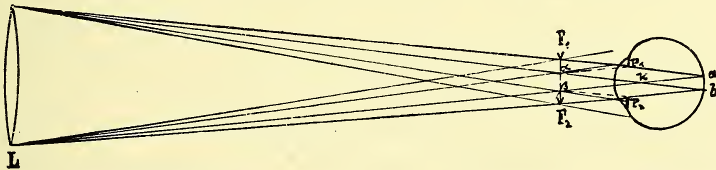


Fig. 15.

Durchmesser (L) die Flamme von 28 *mm* Breite angebracht. Dann entsteht in F_1F_2 14 *cm* von der Linse ein verkehrtes Bild der Flamme, 11·2 *mm* gross. (Der Spiegel ist in der Zeichnung weggelassen und die Linse einfach direct vor das Auge gestellt, weil durch den Spiegel unter diesen Verhältnissen keine Aenderung in der Divergenz der Strahlen bewirkt wird.) Von den Punkten α und β desselben gehen die Strahlen durch den Knotenpunkt, K nach a und b. Von den Punkten des Flammenbildes zwischen F_1 und α und F_2 und β gelangen noch Strahlen in die erweiterte Pupille P_1P_2, doch sind dies nicht mehr ganze Strahlenbündel, son-

dern nur Theile von solchen. Die Hauptmasse der Strahlen wird also in der Weise, wie in der Figur angegeben, ins Auge treten.

Ueber das Verhalten des Schattenkegels vor dem Spiegelloche werden wir uns leicht orientiren, wenn wir in Fig. 9 F_1F_2 als den Durchmesser der Convexlinse = 36 *mm* ansehen. Die übrigen Bezeichnungen sollen ihre Bedeutung beibehalten. Es ist dann bc in der dort angegebenen Weise berechnet = 12·7. Der Schattenkegel erreicht also gar nicht den Scheitel der Hornhaut.

Es folgt aus alledem eine sehr intensive Beleuchtung des Netzhauttheiles zwischen a und b, welcher Licht von allen Punkten des Flammenbildes zwischen α und β erhält. Wenn wir Fig. 5, wo bei der Untersuchung im verkehrten Bilde parallele Strahlenbündel auf die Netzhaut fallen, betrachten, so stellt sich dabei die Analogie mit unserem Falle heraus. In beiden Fällen liegt ein verkehrtes Flammenbild im vorderen Brennpunkte des Auges, von welchem durch die weite Pupille eine grosse Menge von Licht durch das dioptrische System des Auges gerade auf den mittleren Partien des Augenhintergrundes concentrirt wird.

B. Das Licht fällt nicht in der Richtung der optischen Axe in das Auge.

Wir müssen hier zwei Fälle unterscheiden:

1. Man kann zunächst, während man im aufrechten Bilde untersucht, den Spiegel drehen, während man den Kopf völlig ruhig hält. Es wandert dann das Flammenbild am Augengrunde im gleichen Sinne mit der Spiegeldrehung und man ist im Stande, dasselbe so zu leiten, dass eine bestimmte Netzhautstelle, beispielsweise ein Gefäss, einmal in der Mitte des Flammenbildes, ein andermal nahe dem einen oder dem anderen Rande desselben liegt. Dabei wird natürlich die Richtung der Gesichtslinie des Beobachters gar nicht verändert.

2. Man bewegt den Kopf sammt dem Spiegel in verschiedenen Richtungen, wobei das Flammenbild seinen Ort auf der Netzhaut weniger zu ändern braucht, als bei der vorigen Art der Spiegelbewegung. Ja bei künstlich erweiterter Pupille gelingt es, selbst starke Excursionen mit dem Spiegel zu machen, während man einen bestimmten Punkt der Retina immer in der Mitte des Flammenbildes behält. Bei diesem Vorgange blickt man auch in immer anderen Richtungen auf die betreffende Partie der

Netzhaut — die Gesichtslinie des Beobachters macht verschiedene Winkel mit dem beobachteten Theile der Retina.

Wir müssen bei diesen Árten des Strahleneinfalles unterscheiden, um was für einen Spiegel es sich handelt und ob das vom Auge erzeugte Flammenbild vor oder hinter der Retina entsteht. Es sollen natürlich nur jene Fälle besprochen werden, bei denen wirklich eine Aenderung des Strahleneinfalles auf die Netzhaut erfolgt und es muss hier gleich bemerkt werden, dass die näheren Erklärungen in dieser Richtung im II. Abschnitte folgen. Dort wird auseinandergesetzt werden, warum wir den Helmholtzschen Beleuchtungsapparat hier nicht weiter zu erwähnen brauchen und warum auch der belegte durchbohrte Planspiegel nicht gesondert abgehandelt wird, so dass also hier nur vom Concavspiegel die Rede sein soll. Auch können wir uns bei der ersten Art der angeführten Spiegelbewegung, wo nämlich nur der Spiegel bei ruhig gehaltenem Kopfe des Beobachters gedreht wird, auf den unten folgenden besonderen Fall beschränken.

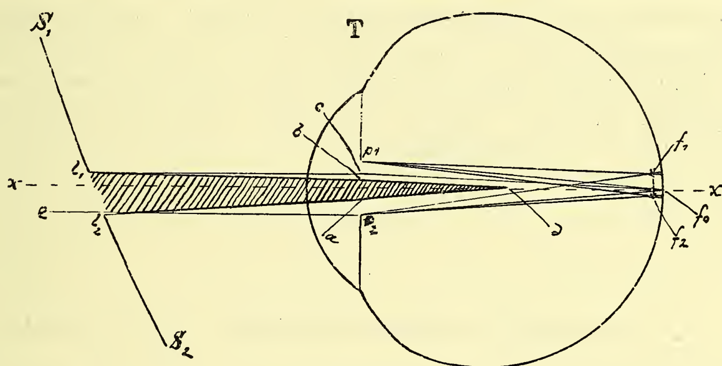


Fig. 16.

Es sei in Fig. 16 (zweimalige Vergrösserung) xx die optische Axe des Auges. Der Concavspiegel S_1S_2 hat die Brennweite von 18 *cm* und die Lampe ist 30 *cm* von ihm entfernt (Fall 1 auf Seite 35; siehe auch Fig. 13). Wir haben nun den Kopf sammt dem Spiegel so gegen die nasale Seite des beobachteten Auges (N) bewegt, dass wir nun nicht mehr entlang der optischen Axe in das Auge sehen. Das Flammenbild f_1f_2 hat sich temporalwärts (T) verschoben. Der Schattenkegel hat den Durchmesser ab in der Pupille und seine Spitze liegt in d, 10 *mm* vor der Retina. Weitere Details über die Aenderung der Incidenz der Strahlen dabei werden weiter unten gegeben werden.

Die zweite Art des schiefen Strahleneinfalles braucht nur durch folgenden Fall illustrirt zu werden (Fig. 17):

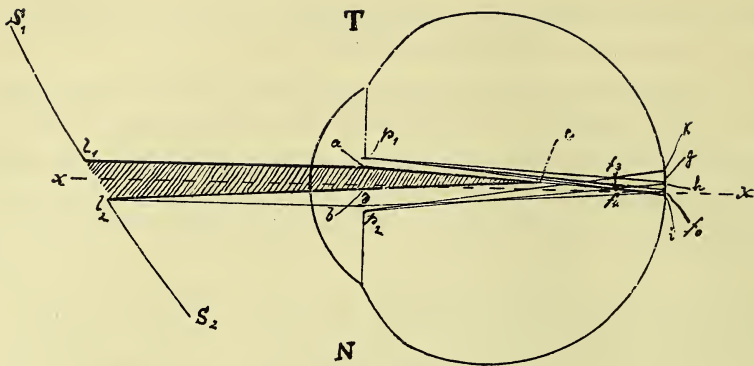


Fig. 17.

Ein Concavspiegel von 8 *cm* Brennweite reflectirt die Strahlen einer 60 *cm* entfernten Lichtquelle ins Auge. (Fall 4 auf Seite 36; siehe auch Fig. 13). Es wird aber der Spiegel so temporalwärts gedreht, dass die Mitte des Spiegelloches auf der optischen Axe des untersuchten Auges verbleibt. Dadurch wandert das Zerstreuungsbild der Flamme am Augenhintergrunde ebenfalls temporalwärts (T) u. zw. soll dies so weit erfolgen, dass das hintere Ende der optischen Axe fo nun ganz nahe dem Rande dieses Zerstreuungsbildes zu liegen kommt. Die Spitze des Schattenkegels befindet sich in c, 7·9 *mm* vor der Netzhaut.

C. Aenderung des Strahleneinfalles bei Ametropie.

Die Aenderungen, die die Refraction des untersuchten Auges bei der Methode des aufrechten Bildes in der Menge und Incidenz der zur Netzhaut gelangenden Strahlen bewirkt, sind nur gering im Vergleiche zu jenen, welche beim verkehrten Bilde zu beobachten sind. Die Entfernung des Spiegels vom Auge bleibt ja im aufrechten Bilde immer dieselbe, welcher auch der Brechzustand des Auges sei.

Bei Axenametropie kann also, vorausgesetzt, dass die Pupille immer die gleiche Weite hat, der einzige Unterschied darin bestehen, dass das vom Auge entworfene Flammenbild einmal näher, einmal weiter vom Fundus liegt. Untersucht man mit einem solchen Spiegel oder in der Weise, dass dieses Flammenbild bei Ametropie hinter dem hinteren Brennpunkte des Auges entsteht, so muss bei Myopie das Bild in Folge der grösseren Axenlänge des Auges näher an der Netzhaut, eventuell in oder vor derselben, bei Hypermetropie weiter hinter ihr liegen. Erzeugt das dioptrische System des Auges aber bei Emmetropie ein Flammenbild im

Glaskörper, dann liegt dieses bei Myopie in grösserer Entfernung, bei Hypermetropie in geringerer vor dem Augenhintergrunde; es kann aber unter Umständen bei Hypermetropie auch in oder hinter die Retina fallen

Die Spitze des vor dem Spiegelloche liegenden Schattenkegels hat bei Myopie immer einen grösseren, bei Hypermetropie einen geringeren Abstand von der Netzhaut als unter sonst gleichen Verhältnissen bei Emmetropie. Dagegen bleibt die Breite des Schattenkegels in der Pupille bei jeder Refractionsanomalie die gleiche.

Genauer soll der Einfluss dieser durch die Ametropie geänderten Verhältnisse auf die Incidenz der Strahlen zur Netzhaut später erörtert werden.

Die Lichtmenge, mit der die betreffende Netzhautstelle erleuchtet wird, muss auch beim aufrechten Bilde bei grösserer Axenlänge des Auges, also bei Myopie abnehmen. Doch brauchen wir nur auf das oben, Seite 25 in dieser Hinsicht Gesagte zu verweisen, um zu wissen, dass dies nicht von erheblicher Bedeutung sein kann. Die einzelnen Punkte der Retina innerhalb des Zerstreuungsbildes oder des Bildes der Flamme werden ceteris paribus desto stärker erleuchtet werden, je kleiner das scharfe oder undeutliche Bild der Flamme ist. Da wir nun jetzt blos von Axenametropie sprechen, so behält das vom Auge erzeugte Flammenbild immer dieselbe Grösse wie bei Emmetropie. Das Zerstreuungsbild auf der Netzhaut muss aber bei grösserer Entfernung des Flammenbildes von dem Fundus immer grösser werden, so dass wir damit also wieder auf die soeben besprochene Veränderung in der Lage des Flammenbildes zum Augenhintergrunde bei Myopie und Hypermetropie zurückkommen. Beim Gebrauche von concaven Spiegeln muss also bei Myopie immer ein grösserer Theil der Netzhaut, aber dieser in seinen Punkten schwächer beleuchtet werden.

Bei dem Planspiegel wird nur dann durch Myopie eine Veränderung bewirkt, wenn das vom Auge entworfene Bild noch vor die Netzhaut fällt, so dass die Strahlen hinter demselben wieder divergiren. Dies kann aber leicht geschehen. Es braucht nur der Fernpunkt des myopischen Auges näher zu liegen als die Lichtquelle. Wenn wir den Abstand zwischen Spiegel und Lampe mit 30 *cm* annehmen, so wird schon bei 3·5 D Myopie dieser Fall eintreten. Dies gilt natürlich auch vom Helmholtz'schen Spiegel.

Die Brechungsmyopie und Brechungshypermetropie würde schon dadurch sich anders verhalten, dass bei ihr bereits das vom Auge erzeugte Flammenbild in seiner Grösse und seiner Entfernung hinter der Pupille ein anderes Verhalten zeigt als bei Emmetropie. Damit wird natürlich auch der Schattenkegel vor dem Spiegelloche in seiner Länge und Breite sich ändern. Doch genügt hier bei dem seltenen Vorkommen dieser Arten der Refractionsanomalien diese kurze Andeutung. Von der Aphakie wird noch unten die Rede sein.

II. Abschnitt.

Einfall der Strahlen auf kleinere innerhalb der beleuchteten Netzhautpartie liegende Netzhautstellen.

Wenn wir sonst die Incidenz der Strahlen auf eine reflectirende Fläche, die von einer Lichtquelle beleuchtet wird, betrachten, so haben wir es mit einem Objecte zu thun, das nach allen Richtungen hin Lichtstrahlen aussendet, das eben selbst leuchtet. Dabei gehen von jedem Punkte des Objectes Strahlen nach jedem Punkte der beleuchteten Fläche.

Anders ist es aber, wenn das von einer reflectirenden Fläche entworfene Bild einer Lichtquelle für eine zweite reflectirende Fläche das Object bildet. Jetzt treten von jedem Punkte dieses Objectes — in unserem Falle das vom dioptrischen Systeme des Auges erzeugte Flammenbild — Strahlenbündel von ganz bestimmter Divergenz zu der reflectirenden Fläche. Es werden also nur Theile dieser reflectirenden Fläche von den einzelnen Strahlenbündeln getroffen. Ist nun die reflectirende Fläche mindestens so gross, dass von jedem Punkte des Flammenbildes Strahlen zu ihr gelangen können, so werden wir leicht durch Rechnung oder Construction den Ort, die Grösse und Richtung des von der reflectirenden Fläche entworfenen Bildes finden können. Bei der Netzhaut ist dies aber nicht der Fall. Infolge der Unregelmässigkeiten der inneren Oberfläche der Retina können wir nie die ganze von dem Lichte getroffene Netzhautpartie als eine reflectirende Fläche ansehen. Es sind vielmehr zahlreiche kleinere spiegelnde Flächen in ihrer Form, ihrer Lagerung zu den einfallenden Strahlen zu bestimmen und die an ihnen erfolgende Reflexion des Lichtes zu ermitteln.

Wir müssen zu diesem Zwecke die Methode der Untersuchung im umgekehrten Bilde von jener im aufrechten Bilde trennen.

I. Das umgekehrte Bild.

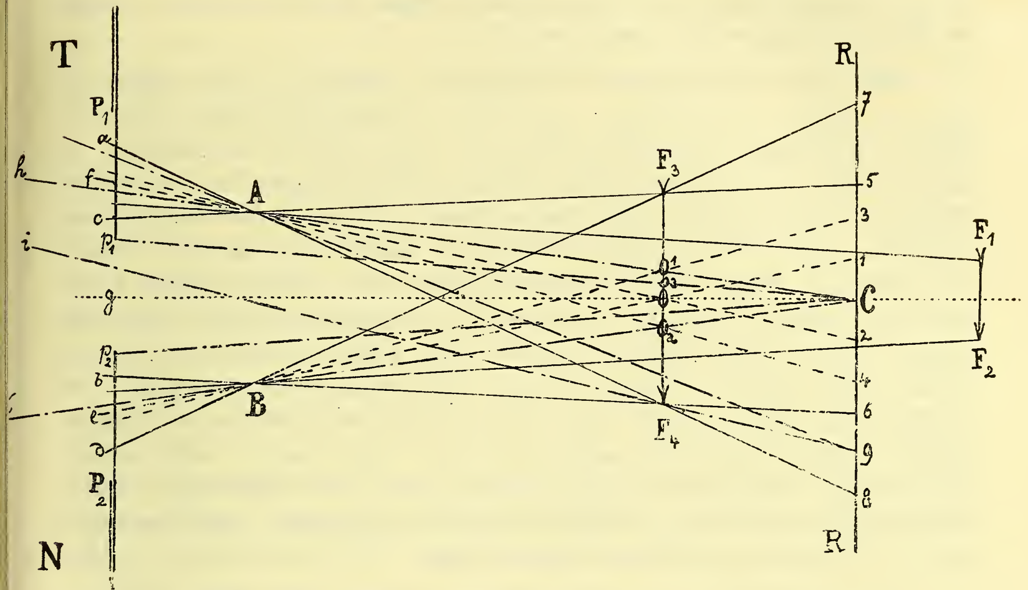


Fig. 18.

Nehmen wir zuerst den Fall, dass divergente Strahlenbündel auf die Netzhaut treffen.

Es ist in Fig. 18 P_1P_2 die erweiterte Pupille, RR die Retina. Das Licht fällt nun so in das Auge, dass die gesammte Lichtmenge, welche der Spiegel liefert, die Pupille durchsetzt. F_3F_4 ist ein vom Auge entworfenes Flammenbild im Glaskörper vor der Netzhaut. Wie aus der Fig. 1 ersichtlich ist, tritt das für den nasalwärts (N) gelegenen Endpunkt des Flammenbildes, für F_4 bestimmte Strahlenbündel durch einen mehr temporalwärts gelegenen Theil der Pupille ab, das nach F_3 hinstrebende Strahlenbündel durch einen natürlich gleich breiten nasalwärts liegenden Theil der Pupille cd. Jenes Strahlenbündel, welches gegen die Mitte des Flammenbildes o geht, hat den Querschnitt ef in der Pupille. Es findet also eine Ueberkreuzung aller Strahlenbündel hinter der Pupille statt, in der Weise, dass die Randstrahlen aller Strahlenbündel sich in den Punkten A und B schneiden.

Suchen wir nun jene Strahlen auf, welche zu dem Punkte C auf der Retina gelangen. Von dem von ef gegen o hin convergirenden Strahlenkegel, welcher hinter o wieder nach 1, 2 divergirt, kommt nur der Strahl goC nach C. Ebenso sendet jeder Punkt des Flammenbildes in der Nachbarschaft von o bloss einen Strahl nach C. Der letzte Punkt des Flammen-

bildes zwischen o und F_3, von dem noch ein Lichtstrahl die Netzhautstelle C trifft, ist o_1, denn die Basis des von ihm divergirenden Strahlenkegels hat den Querschnitt C3 auf der Retina. Aus dem gleichen Grunde ist o_2 der letzte Punkt des Flammenbildes gegen F_4, der noch mit einem Strahle den Punkt C erleuchten wird.

Was den Ausgangspunkt der einzelnen Strahlen in der Pupille betrifft, so finden wir folgendes: Der von o_1 kommende Strahl geht in h durch die Pupille. Dieser Strahl geht, da er ein Grenzstrahl eines zu einem Punkte des Flammenbildes gehörigen Strahlenkegels ist, durch den Punkt A. Alle Strahlen, die zwischen o und o_1 vom Flammenbilde nach C streben, treten in der Pupille zwischen g und h ein. Da aber der von h kommende Strahl durch A geht, so liegen alle von $o\,o_1$ gegen C gerichteten Strahlen zwischen gC und AC. In gleicher Weise lässt sich zeigen, dass auch die Strahlen, die von $o\,o_2$ nach C ziehen, sich finden lassen, wenn man die Strahlen gC und BC, dessen Verlängerung in k die Pupillarebene trifft, aufsucht. Dies sind die Grenzstrahlen für jenes Strahlenbündel, welches durch den nasalen Theil der Pupille nach C tritt. Sämmtliche Strahlen, die nach C gelangen, bilden also einen Strahlenkegel, dessen Begrenzung durch die von A und B nach C gezogenen Linien bestimmt wird. Ihr Querschnitt in der Pupille ist hk.

Auf diese Weise lassen sich für jeden Punkt der Retina zwischen 5 und 6 die einfallenden Strahlenbündel bestimmen; nicht aber für die Strecken 5 bis 7 und 6 bis 8, welche die Durchschnitte eines peripheren etwa ringförmigen Theiles des Zerstreuungsbildes der Flamme auf der Netzhaut darstellen. Wollen wir z. B. den nach 9 gehenden Strahlenkegel bestimmen, so müssen wir zunächst eine Linie von A nach 9 ziehen und dann eine Linie von 9 nach F_4, deren Verlängerung in i die Pupillarebene trifft. Dieser Randtheil des Flammenbildes verhält sich also in Bezug auf den Strahleneinfall ganz anders wie die centralen Partien. Die Grenze dieser beiden Theile des Flammenbildes wird durch die Linien angegeben, welche von A und B nach den auf der gleichen Seite liegenden Endpunkten des Flammenbildes und weiter zur Retina gehen, also $AF_3 5$ und $BF_4 6$.

Es wäre die Pupille aber enger, so dass nicht alles Licht den Augenhintergrund erreicht und zw. wollen wir voraussetzen, dass die Pupille einen geringeren Durchmesser hat, als die einzelnen gegen die Punkte des Flammenbildes gerichteten Strahlenbündel. $p_1 p_2$ sollen ihre Ränder sein. Es hat nun jedes einzelne Strahlenbündel, das nach einem Punkte des Flammenbildes geht, den Querschnitt $p_1 p_2$. Aus der eben gegebenen Auseinandersetzung geht hervor, dass man jetzt, um den nach C gehenden Strahlenkegel zu finden, einfach $p_1 C$ und $p_2 C$ ziehen muss. Diese Linien stellen die Grenzstrahlen dieses Strahlenkegels dar, denn es ist

offenbar o_3 der letzte Punkt des Flammenbildes von o gegen F_3, von dem noch ein Strahl nach C treten kann. o_3 liegt aber auf der Linie p_1C.

Auch in Bezug auf die Netzhautstellen in jenem peripheren ringförmigen Theile des Zerstreuungsbildes der Flamme muss bei enger Pupille eine Veränderung des Strahleneinfalles eintreten. Während der eine Randstrahl des nach 9 gerichteten Strahlenbündels unverändert (i 9) bleibt, geht der andere Randstrahl von p_1 nach 9.

Noch ist es möglich, dass das Licht nicht die ganze Pupille erfüllt, indem es nicht in der Richtung der optischen Axe des Auges einfällt. Hat diese schräge Incidenz einen gewissen Grad erreicht, dann können die zu den Punkten des Flammenbildes verlaufenden Strahlenkegel nicht beiderseits von den Kreuzungspunkten A und B, auch nicht beiderseits von dem Pupillarrande begrenzt werden. Es wird die Breite jedes Strahlenkegels auf der einen Seite vom Pupillarrande auf der anderen von einem der Kreuzungspunkte u. zw. von dem entgegengesetzten bestimmt. Wir können uns dieses Verhältnis durch unsere Figur versinnlichen, wenn wir uns die Pupille excentrisch gelagert denken, z. B. von p_2 bis P_1 reichend. Dann sind p_2 und A die Ausgangspunkte der Strahlen, welche die zur Retina gehenden Strahlenkegel begrenzen. Der nach 9 gehende Strahlenkegel bleibt dabei ganz unverändert.

Gehen wir nun zu dem Falle über, dass convergente Strahlenbündel die Netzhaut treffen, d. h. dass das vom Auge erzeugte Flammenbild hinter der Netzhaut in F_1F_2 liegen würde.

Auch hier wollen wir den Punkt C in der Retina als jenen beibehalten, zu dem wir den Strahleneinfall bestimmen wollen. Die Figur ist so gezeichnet, dass die Punkte A und B beibehalten sind, d. h. dass die Randstrahlen sämmtlicher nach F_1F_2 gehenden Strahlenkegel durch A und B gehen.

Ist die Pupille nun weit, P_1 und P_2 ihre Ränder, so wird es kaum einer besonderen Auseinandersetzung bedürfen, dass der nach C gehende Strahlenkegel durch die Linien AC und BC eingeschlossen wird, in der Pupille also den Querschnitt hk hat. Bei enger Pupille, die beispielsweise bis p_1p_2 reichen soll, ist es dagegen der Strahlenkegel p_1p_2C. Ganz das Gleiche wie bei der Incidenz divergenter Strahlenbündel auf die Netzhaut gilt auch hier, wenn die Strahlen schief einfallen. Es werden unter Umständen die Strahlenkegel einerseits vom Pupillarrande, andererseits von einem der Punkte A und B, aber immer von demjenigen, welcher dem Pupillarrande entgegengesetzt liegt, begrenzt. Nur der ringförmige Randtheil des Zerstreuungsbildes der Flamme auf dem Augenhintergrunde fehlt jetzt, da ja keine Ueberkreuzung der Strahlenbündel in einem Flammenbilde vor der Netzhaut stattfindet.

Denken wir uns in C eine kleine reflectirende concave oder convexe Fläche, so wird für jeden einzelnen Punkt dieser Fläche die soeben gegebene Betrachtung ihre Geltung haben. Wir werden den gesammten Strahlenverlauf gegen die Fläche finden, wenn wir die äussersten zu den Endpunkten der Fläche gehenden Strahlen bestimmen.

Wir können das Gesagte in folgende Punkte zusammenfassen:

1. Liegt das vom Auge entworfene Flammenbild hinter der Netzhaut, fallen also convergente Strahlenbündel auf die Netzhaut, dann finden wir den zu einem Punkte der Netzhaut gehenden Strahlenkegel, wenn wir die Ueberkreuzungspunkte A und B mit dem betreffenden Punkte der Netzhaut verbinden. Die Verlängerung dieser Linien durch die Pupille ergibt den Querschnitt des Strahlenkegels in der Pupille. Ist die Pupille enger als eines der gegen das Flammenbild hinter der Retina gerichteten Strahlenbündel, so bilden die Ränder der Pupille die Begrenzung des Strahlenkegels, welcher den Punkt auf der Retina trifft. Fällt das Licht nicht in der Richtung der optischen Axe des Auges ein, so gehen die Randstrahlen des Strahlenkegels eventuell auf der einen Seite vom Pupillarrande auf der anderen vom Ueberkreuzungspunkte aus. (Siehe Fig. 6, 7 und 8).

2. In der gleichen Weise verfährt man, wenn das Flammenbild vor der Netzhaut liegt und der Punkt auf der Retina in einem mittleren Theile der beleuchteten Netzhautpartie liegt. Diese wird durch die Endpunkte jener Linien auf der Retina begrenzt, welche man bei weiter Pupille von den Punkten A und B, bei enger Pupille von den Rändern derselben durch die auf derselben Seite liegenden Endpunkte des Flammenbildes zur Retina ziehen kann.

3. Befindet sich bei divergentem Strahleneinfalle der einzelnen Strahlenbündel auf die Retina der betrachtete Punkt ausserhalb dieser Partie in der Randzone des Zerstreuungsbildes der Flamme, so ist das zu ihm tretende Bündel einerseits begrenzt durch eine in gewöhnlicher Weise vom Pupillarrande oder von einem der Kreuzungspunkte gelegte Linie. Den anderen Randstrahl erhält man, wenn man den Punkt auf der Retina mit dem auf derselben Seite liegenden Endpunkte des Flammenbildes verbindet und diese Linie verlängert, bis sie in die Pupille kommt. Der Durchschnitt dieser Linie mit der Pupillarebene und auf der anderen Seite der Pupillarrand oder der Durchschnittspunkt der durch den Kreuzungspunkt gehenden Linie mit der Pupillarebene geben den Querschnitt des betreffenden Strahlenbündels in der Pupille.

4. Ist eine spiegelnde Fläche im Augenhintergrunde nicht so gross, dass von jedem Punkte des vom Auge entworfenen Flammenbildes Licht auf dieselbe gelangt, so kann das Flammenbild nicht mehr das Leuchtobject für diese spiegelnde Fläche sein. Um diese Fläche als Ganzes betrachten zu

können, kann sie sich beim Einfallen convergenter Strahlenbündel auf die Netzhaut an jeder beliebigen Stelle innerhalb des Zerstreuungsbildes der Flamme befinden. Fallen aber divergente Strahlen auf die Retina, dann muss die reflectirende Fläche ganz in jener unter 3 erwähnten Randzone, oder ganz in der unter 2 näher bestimmten mittleren Partie des Zerstreuungsbildes situirt sein. Den Strahlenkegel, der die leuchtende Fläche trifft, können wir in folgender Weise finden: Wir bestimmen die Strahlenkegel, die zu den Endpunkten der Fläche gehen in der unter 1, 2 und 3 angegebenen Weise. Dadurch erhalten wir den gesammten Querschnitt der zu der reflectirenden Fläche gehenden Strahlenmenge innerhalb der Pupille. Die von diesem Querschnitte eingenommene Fläche in der Pupille können wir dann für die betreffende reflectirende Fläche der Retina als das leuchtende Object ansehen. Streng genommen müssen wir allerdings das durch den betreffenden Querschnitt der Pupille verlaufende Strahlenbündel bis zu dem von dem dioptrischen Apparate des Auges erzeugten Bilde des Spiegels verfolgen. Der dieses Strahlenbündel aussendende Theil dieses Bildes des Spiegels wäre dann das leuchtende Object für die spiegelnde Fläche der Retina. Da aber die Brennweiten der in Betracht kommenden spiegelnden Flächen im Verhältnis zur Entfernung der Pupille von der Retina sehr klein sind und da ferner durch die spiegelnde Fläche auch ein Bild des Pupillarrandes entworfen werden muss, so können wir uns die Ungenauigkeit gestatten, dass wir die Pupille als das leuchtende Object betrachten. Dies vereinfacht bedeutend die Constructionen und macht die Verhältnisse anschaulicher.

5. Liegt die reflectirende Fläche zum Theile in der bei divergentem Strahleneinfall auf die Retina vorkommenden, unter 3 beschriebenen Randzone des Zerstreuungsbildes der Flamme, und zum Theile in der mittleren Partie desselben, dann muss man die beiden Theile der Fläche gesondert betrachten und auf jeden den Strahleneinfall, sowie für jeden speciell das leuchtende Object bestimmen. Dieses Letztere muss dann für jedes dieser Flächenstücke von einem anderen Theile der von Licht durchsetzten Pupille gebildet werden.

6. Beim Einfalle paralleler Strahlenbündel (Fig. 5) werden die Strahlenkegel, welche zu den einzelnen Punkten der Netzhaut gelangen, leicht zu finden sein. Sie werden durch den Winkel KaP für alle Netzhautpunkte bestimmt. Der Strahleneinfall auf eine spiegelnde Fläche ergibt sich wiederum durch Ermittelung des Strahleneinfalles auf ihre Endpunkte.

Fällt das Licht nicht in der Richtung der optischen Axe des Auges ein, so wird, wie aus dem Vorhergehenden folgt, nicht immer auch eine Aenderung des Strahleneinfalles auf eine kleine beleuchtete Fläche

folgen. Vielmehr wird dies davon abhängen, ob dadurch die Lage der Ueberkreuzungspunkte im Auge geändert oder ob an einer Seite, wo früher der Ueberkreuzungspunkt die Begrenzung des zur reflectirenden Fläche verlaufenden Strahlenbündels bildete, jetzt der Randstrahl vom Pupillarrande ausgeht, etc.

In der vorstehenden Auseinandersetzung haben wir den Einfluss des Spiegelloches ausser Acht gelassen. In der That kann durch das zuerst von der Linse, dann vom dioptrischen System des Auges entworfene Bild des Spiegelloches kein Licht zur Retina gelangen.

Das vom Auge entworfene Bild des Spiegelloches, welches in letzter Linie in Betracht kommt, liegt, wie wir gesehen haben, in wechselnder Entfernung hinter der Pupille und seine Grösse schwankt zwischen 0·34 und 0·56 *mm*. Erfolgt der Strahleneinfall genau in der Richtung der optischen Axe, so befindet sich dieses Bild auch auf der optischen Axe. Sonst wird sich seine Lage nach dem Strahleneinfall ändern.

Von dem zu einem Punkte der Retina oder zu einer kleinen spiegelnden Fläche daselbst durch die Pupille auf die Retina fallenden Strahlenkegel wird also ein allerdings nur minimaler, diesem Bilde des Spiegelloches entsprechender Theil fehlen.

---

2. Das aufrechte Bild.

Wegen der grossen Nähe des Spiegels und seines im Verhältnis zur Pupille bedeutenden Durchmessers, erfüllen hier alle nach dem vom Auge entworfenen Flammenbilde gerichteten Strahlenbündel die ganze Pupille, so dass keine Ueberkreuzung der Strahlenbündel hinter der Pupille erfolgt. Es wird aber zunächst einen bedeutenden Unterschied machen, ob wir den Helmholtz'schen Beleuchtungsapparat oder einen belegten, durchbohrten Spiegel zur Untersuchung benützen.

Beim Helmholtz'schen Beleuchtungsapparate sind die Verhältnisse ganz so wie wir sie beim verkehrten Bilde für die enge Pupille $p_1 p_2$ und für den Einfall convergenter Strahlenbündel auf die Retina geschildert haben, d. h. die Strahlenkegel, die zu einzelnen Punkten auf der Netzhaut gehen, werden begrenzt durch Linien, die von den Rändern der Pupille gegen die Punkte auf der Retina gezogen werden. Da das Bild der Flamme hinter der Netzhaut liegen muss, so gibt es keine durch einen anderen Strahlenverlauf ausgezeichnete Randzone des Zerstreuungsbildes auf dem Augenhintergrunde.

Es folgt daraus, dass wir weder durch Drehung des Spiegels bei ruhig gehaltenem Kopfe, noch durch eine Bewegung des

Kopfes sammt dem Spiegel eine Aenderung des Strahleneinfalles auf kleine innerhalb der beleuchteten Netzhautpartie liegende Netzhautstellen bei Anwendung des Helmholtz'schen Beleuchtungsapparates erzielen können. Immer gehen die Strahlenkegel von der ganzen Pupille aus, ob wir den Spiegel auch wie immer drehen oder verschieben. Bewegen wir den Kopf sammt dem Spiegel, so resultirt bei ungeändertem Strahleneinfalle auf die Retina eine Aenderung des Winkels, den die Gesichtslinie des Beobachters mit der betrachteten Netzhautstelle einschliesst. Ganz dasselbe können wir auch erreichen, wenn wir den Spiegel ruhig halten und den Kopf hinter dem Spiegel verschieben und so in verschiedenen Richtungen in das untersuchte Auge hineinblicken.

Für jede kleine spiegelnde Fläche am Augenhintergrunde ist bei Gebrauch des Helmholtz'schen Spiegels somit immer die ganze Pupille oder genauer jener Theil des Spiegels, der Lichtstrahlen durch die Pupille zu der spiegelnden Fläche sendet, das leuchtende Object. (Wenn wir hier und im Folgenden »kleine spiegelnde Fläche oder kleine reflectirende Fläche« sagen, so ist damit immer eine Fläche gemeint, die nicht genügend gross ist, um von allen Strahlenbündeln getroffen zu werden, die zu jedem einzelnen Punkte des vom Auge entworfenen Flammenbildes verlaufen oder von diesen Punkten ausgehen).

Bei sämmtlichen belegten, durchbohrten Spiegeln verbleibt, wie wir oben gesehen haben, vor dem Spiegelloche eine dunkle Stelle, die wir immer kurzweg als »Schattenkegel« bezeichnet haben. Der Durchmesser und die Lage dieses Schattenkegels in der Pupille wird von wesentlicher Bedeutung für den Strahleneinfall auf einzelne Netzhautpunkte oder kleine reflectirende Flächen sein.

Durch das Spiegelloch wird von der Strahlenmasse, die von dem vom Spiegel entworfenen Flammenbild ausgeht oder zu ihm hinstrebt ein gewisses Strahlenbündel gleichsam herausgeschnitten. Dasselbe geschieht andererseits durch den Pupillarrand. Es wird also nur ein bestimmter Theil des Spiegels in der Umgebung des Spiegelloches Licht zu den einzelnen Punkten oder kleinen spiegelnden Flächen der Netzhaut entsenden und somit für dieselben das leuchtende Object bilden. Aus dem auf Seite 51 angeführten Grunde können wir aber auch einen gewissen Theil der Pupille als das leuchtende Object annehmen.

Betrachten wir zunächst den Lichteinfall bei den einzelnen Spiegelarten, sobald Licht in der Richtung der optischen Axe des Auges einfällt und beginnen also mit dem Planspiegel.

Wir wollen den Strahleneinfall auf den Punkt am hinteren Ende der optischen Axe auf fo untersuchen (Fig. 11). Es ist klar, dass zunächst nur durch den ringförmigen von Licht durchsetzten Theil der Pupille, nahe ihrem Rande Licht auf fo fallen kann. Aber auch nicht einmal die ganze Breite dieses Ringes, welche für 60 *cm* Entfernung der Lampe vom Spiegel im Durchschnitte von p_1 und p_2 bis zu den Rändern des senkrecht schraffirten Schattenkegels reicht, kommt für den Strahleneinfall auf fo in Betracht. Strahlen, die von den Rändern des Spiegelloches $l_1 l_2$ nach fo gelangen könnten, müssten auch von da zurück nach $l_1 l_2$ gehen können Die von fo nach l_1 und l_2 verlaufenden Strahlen müssen nach ihrem Austritte aus dem Auge der optischen Axe parallel sein und würden in g und e die Pupillarebene schneiden. (Die von g und e nach fo gehenden Strahlen sind in der Figur, um nicht zu viel Linien anzubringen, weggelassen). Ein jeder von l_1 nach einem Punkte der Pupille zwischen e und a tretende Strahl wird nicht mehr nach fo kommen. Das Analoge gilt auch auf der anderen Seite. Es werden also jene Strahlenbündel, welche parallel zur optischen Axe verlaufen und die Pupille zwischen p_1 und e und p_2 und g durchsetzen, nach ihrer Brechung durch das Auge nach fo fallen. (Es müssen ja auch alle Strahlen, welche auf ea und bg treffen, ohne der optischen Axe des Auges parallel zu sein, nicht nach fo, sondern nach anderen Punkten der Retina gelangen.)

Wir können daraus den Schluss ziehen, dass für fo oder eine sehr kleine daselbst liegende spiegelnde Fläche ein ringförmiger peripherer Theil der Pupille oder genauer ein ringförmiger um das Spiegelloch liegender Theil des Spiegels — im Durchschnitte p_1e und p_2g in der Pupille — das leuchtende Object ist. Dieser Ring ist aber nicht nach allen Seiten hin gleich breit. Es beruht dies darauf, dass der Spiegel ja schräg gehalten werden muss. Die Projection des schräg gestellten Spiegelloches auf die Ebene der Pupille ergibt aber ein Oval mit senkrecht stehender grösserer Axe. Der ringförmige Theil der Pupille ist also an seiner nasalen und temporalen Seite breiter als oben und unten. Ist diese kleine spiegelnde Fläche um ein erhebliches grösser, dann ist dieser ringförmige Theil der Pupille, oder des Spiegels von dem Licht zu der spiegelnden Fläche gelangt, auch um etwas breiter, indem auch Strahlen, die zwischen e und a oder zwischen g und b die Pupille durchsetzen, auf die spiegelnde Fläche fallen.

Liegt der Punkt, auf den das Licht einfällt, nicht am hinteren Ende der optischen Axe, sondern mehr gegen die Randtheile des Zerstreuungsbildes der Flamme, dann ist das leuchtende Object für denselben ein ganz anderes. Fig. 19 zeigt die Verhältnisse für einen Punkt in der Netzhaut, welcher 0·45 *mm* von dem hinteren Ende der optischen Axe entfernt ist, also ziemlich nahe dem Rande des beleuchteten

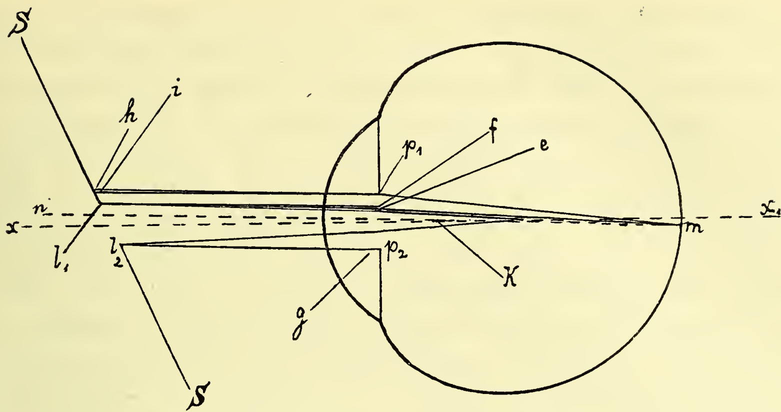


Fig. 19.

Netzhauttheiles sich befindet, falls das Flammenbild hinter der Retina 1·4 *mm* gross ist. Das Flammenbild hinter der Retina ist der Einfachheit wegen weggelassen. Ziehen wir die Linie mn durch den Knotenpunkt K, so müssen Strahlen, die nach m gelangen sollen, vor ihrer Brechung durch den dioptrischen Apparat des Auges dieser Linie parallel sein. Dies sind die Linien l_1e und l_2g, sowie p_1h. Von l_2 und den benachbarten Theilen des Spiegels kommt also kein Licht auf m, wohl aber von den Punkten des Spiegels zunächst l_1 durch den Theil p_1e der Pupille. Gehen wir von p_1 aus längs des Randes der Pupille bis p_2, so wird der Streifen der Pupille, durch den Lichtstrahlen nach m gehen, immer schmäler und schmäler. Es ist also ein sichelförmiger Theil der Pupille zunächst ihrem temporalen Rande oder ein sichelförmiger temporalwärts gelegener Theil des Spiegels neben dem Spiegelloch, von dem das Licht nach dem nasalwärts vom hinteren Ende der optischen Axe befindlichen Punkte m geht. Dieser Theil der Pupille oder des Spiegels ist für m das leuchtende Object.

Ganz analog wie für den Einfall des Lichtes in der Richtung der optischen Axe liegen die Verhältnisse, sobald das Licht in der Richtung einer Nebenaxe, aber so ins Auge fällt, dass von den rings um das Spiegelloch liegenden Punkten des Spiegels Licht in die Pupille dringen kann. Dann ist eben der Punkt am hinteren Ende der Nebenaxe von dem ringförmigen Theile der Pupille erleuchtet. Je enger die Pupille, desto schwerer wird es natürlich gelingen, nicht nur einen sichelförmigen, sondern einen ringförmigen Theil der Pupille so zu beleuchten, dass von da aus Licht nach einem Punkte am hinteren Ende der betreffenden optischen Axe fallen kann.

In ganz analoger Weise verhält sich der Concavspiegel, sobald convergente Strahlenbündel auf die Retina fallen.

Treffen bei Gebrauch des Concavspiegels divergente Strahlen die Netzhaut — und dies ist ja der gewöhnliche Fall — dann müssen wir in dem Zerstreuungsbilde der Flamme die oben erwähnte Randzone von der mittleren Partie in Bezug auf den Strahleneinfall unterscheiden. Die Randzone ist desto breiter, je weiter das Flammenbild im Glaskörper von der Netzhaut entfernt ist und je kleiner es ist. Es muss daher bei Gebrauch eines Spiegels von bestimmter Brennweite die Randzone breiter werden, wenn man die Flamme von dem Spiegel abrückt. Gebraucht man Spiegel verschiedener Brennweite, dann wird jener von kürzerer Brennweite ceteris paribus die breitere Randzone ergeben. Unter den oben auf Seite 35 und 36 angeführten Fällen würde man also mit dem Spiegel von 8 *cm* Focaldistanz bei 60 *cm* Abstand des Spiegels von der Lampe die breiteste Randzone bekommen. (Siehe Fig. 13 mk und hi).

Für einen Punkt fo am hinteren Ende der optischen Axe bestimmt man den Strahleneinfall ganz in derselben Weise wie früher beim Planspiegel (in der Fig. 13 ist fo der Deutlichkeit wegen weggelassen, es liegt zwischen i und k), d. h. man zieht von l_1 und l_2 Linien parallel zur optischen Axe, welche die Pupille in e und g treffen. Der ringförmige Theil der Pupille im Durchschnitte p_1e und p_2g ist das leuchtende Object für fo oder eine daselbst vorfindliche, sehr kleine spiegelnde Fläche. Auch für die noch in der mittleren Partie des beleuchteten Theiles der Netzhaut, aber weiter von fo entfernt liegenden Punkte gilt das beim Planspiegel Gesagte.

Ist der Punkt oder die kleine spiegelnde Fläche aber in der Randzone, dann müssen wir nach den früher gegebenen Regeln verfahren. Aus einer Betrachtung der Fig. 13 geht hervor, dass das Licht auf einen Punkt zwischen k und m nicht von dem auf derselben Seite liegenden Theile der Pupille zwischen p_2 und b kommen kann, denn wenn wir uns von einem Punkte zwischen k und m eine Linie durch den Knotenpunkt gezogen denken und zu dieser Linie vor dem Auge von l_1 und l_2 Parallele legen, so gilt dasselbe wie in Fig. 19.

Das leuchtende Object für einen Punkt oder eine kleine spiegelnde Fläche in der Randzone ist also ein vom Licht durchsetzter Randtheil der Pupille, welcher mit Rücksicht auf das Centrum der beleuchteten Netzhautpartie auf der entgegengesetzten Seite liegt als der Punkt in der Randzone. Die Form dieses Objectes ist wieder eine Sichel. Nehmen wir also beispielsweise einen Punkt temporalwärts in der Randzone, so gehen zu diesem Punkte Strahlen von einem sichelförmigen, nasalwärts gelegenen Theile der Pupille, dessen Concavität nach der Schläfenseite gerichtet ist.

Die Breite des ringförmigen oder sichelförmigen Theiles der Pupille, von dem Licht zur Retina gelangt, ist wie wir früher gesehen haben, nicht nur abhängig von der Breite des Schattenkegels in der Pupille,

welche je nach der Brennweite des Spiegels und der Entfernung der Lichtquelle vom Spiegel wechselt, sondern auch von der Weite der Pupille, die wieder mit der die Netzhaut treffenden Lichtmenge im Zusammenhange steht.

Beim Einfalle paralleler Strahlenbündel können wir uns fast auf das berufen, was schon bei Gelegenheit des parallelen Strahleneinfalles im verkehrten Bilde gesagt wurde. Der Schattenkegel vor dem Spiegelloche erreicht ja hier nicht die Pupille (Siehe Seite 42). Es ist also die ganze Pupille von Licht erfüllt. Doch hat dies nur auf die Intensität, mit der die ganze vom Lichte getroffene Netzhautstelle beleuchtet ist, einen Einfluss. Zu den kleinen spiegelnden Flächen werden auch hier nur von gewissen Theilen des Spiegels um das Spiegelloch Strahlen gehen. Die Randstrahlen der einzelnen zu verschiedenen Netzhautpunkten oder kleinen spiegelnden Flächen verlaufenden Strahlenkegel erfahren wir durch die Frage nach den äussersten Strahlen, die zu einem Netzhautpunkte gelangen. Diese bilden mit einander den Winkel $K a P_1$ (Fig. 15). Es ist fast genau derselbe Winkel wie jener, wenn parallele Strahlen bei der Untersuchung im verkehrten Bilde die Retina treffen.

Sehr wichtig für das Verhalten der Netzhautreflexe ist die Betrachtung der Verhältnisse des Strahleneinfalles, sobald das Licht durch Drehung oder Bewegung des Spiegels in anderer Richtung ins Auge fällt.

Dass beim Helmholtz'schen Beleuchtungsapparate keine Aenderung eintritt, wurde oben schon erwähnt.

Bei den durchbohrten Spiegeln haben wir im Sinne der Auseinandersetzung auf Seite 42 die Drehung des Spiegels bei ruhig gehaltenem Kopfe des Untersuchers von der Drehung des Spiegels und des Kopfes nach einer Seite hin zu unterscheiden.

1. Wird der Spiegel allein gedreht, so bewegt sich das Flammenbild am Augenhintergrunde in der Richtung der Spiegeldrehung. Fassen wir nun den Punkt fo am hinteren Ende der optischen Axe ins Auge. Drehen wir den Planspiegel so, dass fo nicht mehr in der Mitte des Zerstreuungsbildes der Flamme auf der Netzhaut, sondern nahe dem Rande desselben liegt, so wird, wenn wir zunächst von dem vor dem Spiegelloche liegenden Schattenkegel absehen, keine Aenderung in dem Strahleneinfalle erfolgen. Die Strahlen, welche nach fo gehen, bilden vor dem Auge nach dem, was soeben gezeigt wurde, einen hohlen Cylinder, welcher von dem Spiegel in der Umgebung des Spiegelloches ausgeht, so dass die Axe des Cylinders parallel der optischen Axe verläuft. Dieser Strahlencylinder wird nach seiner Brechung durch den dioptrischen Apparat des Auges zu einem hohlen Kegel, dessen Spitze in fo liegt und welcher Hohlkegel in dem grossen Strahlenkegel enthalten sein muss, welcher von der Pupille aus gegen das vom Auge entworfene, hinter der Retina liegende Flammenbild strebt.

So lange dieses Flammenbild sich nicht so stark verschoben hat, dass fo nicht mehr innerhalb der beleuchteten Netzhautpartie liegt, würden sich bei den Drehungen des Spiegels nur folgende Aenderungen in dem vom Spiegel ausgehenden Strahlencylinder vollziehen: Bei der Drehung des Spiegels um seine verticale Axe müssen die Punkte l_1 und l_2 sich der optischen Axe nähern. Der Strahlencylinder wird in Folge dessen in seiner Wanddicke in horizontaler Richtung zunehmen, so dass der Durchschnitt des von ihm umschlossenen hohlen Raumes jetzt ein noch stärker in die Länge gezogenes Oval bildet, als dies sonst schon der Fall ist (Siehe Seite 54).

Der soeben geschilderte Strahleneinfall gegen fo könnte dann eine Veränderung erleiden, wenn durch die Drehung des Spiegels der Schattenkegel vor dem Spiegelloche eine solche Bewegung innerhalb der Pupille machen würde, dass dadurch der hohle Strahlencylinder vor dem Auge an einer Stelle gleichsam durchbrochen würde. Dann könnte von der einen Seite kein Licht in die Pupille dringen. Setzen wir zunächst den Fall voraus, dass der Planspiegel 30 *cm* von der Lampe gehalten wird. Dann ist der Schattenkegel in der Pupille 1·5 *mm* breit und seine Spitze 8·3 *mm* vor der Retina. In Fig. 17 ist der Fall dargestellt, wo der Concavspiegel von 8 *cm* Brennweite 60 *cm* von der Lichtquelle entfernt ist. Der Schattenkegel ist hier auch 1·5 *mm* in der Pupille breit und seine Spitze liegt 7·9 *mm* vor der Retina, also nur wenig weiter vorn. Der beleuchtete Theil der Netzhaut ist aber bei dem letzteren Falle grösser, so dass eine stärkere Drehung des Spiegels möglich ist, ohne dass der Punkt fo ausserhalb des Zerstreuungsbildes der Flamme zu liegen käme. Dennoch würde bei Gebrauch des Planspiegels der Schattenkegel, wie er in der Fig. 17 gezeichnet ist, keine Beeinträchtigung des Strahleneinfalles ins Auge bewirken. Wir brauchen uns, um dies einzusehen, nur gegenwärtig zu halten, dass das Flammenbild beim Planspiegel hinter der Netzhaut liegt. Es würden also die Linien $p_1$fo und dfo noch immer innerhalb des gesammten nach dem Flammenbilde hinter der Retina verlaufenden Strahlenkegels liegen. d ist nämlich der Punkt, in welchem eine parallel zur optischen Axe verlaufende Linie die Pupillarebene trifft. Ebenso kann von der anderen Seite der Pupille von p_1 Licht nach fo gelangen. Für fo ist also auch jetzt noch der ringförmige Randtheil der Pupille das leuchtende Object.

Es ist leicht nachzuweisen, dass der Schattenkegel den Strahleneinfall ebenfalls nicht beeinflusst, sobald es sich um einen Concavspiegel von 18 *cm* Brennweite handelt, der 30 *cm* von der Lampe absteht und sobald wir nur die mittlere Partie des Zerstreuungsbildes der Flamme, nicht die Randzone betrachten, d. h. den Spiegel nur so weit drehen, dass fo noch immer in der mittleren Partie verbleibt. Wir brauchen nur den Verlauf der Linien anzusehen, welche durch ihre Fuss-

punkte auf der Retina die mittlere Partie des beleuchteten Netzhauttheiles von der Randzone trennen. Dieselben (in Fig. 13 p_2f_2 und p_1f_1) verlaufen ganz ähnlich wie die Linien, die vom Pupillarrande zu den Endpunkten des Flammenbildes bei Gebrauch eines Planspiegels gezogen werden. (Fig. 11 p_1f_1 und p_2f_2). Es verhält sich also die mittlere Partie des Zerstreuungsbildes der Flamme auf der Retina bei Gebrauch des Concavspiegels ganz ähnlich wie das ganze Zerstreuungsbild beim Planspiegel. Ausserdem ist in unserem Falle (Concavspiegel von 18 *cm* Brennweite in 30 *cm*) der Schattenkegel mit seiner Spitze nicht so tief im Auge, nämlich 10 *mm* von der Retina entfernt, und ist schmäler als beim Planspiegel, nämlich nur 1·28 *mm* breit. Er wird also ebensowenig einen nennenswerthen Einfluss auf den Strahlenverlauf nach fo haben als beim Planspiegel.

Doch wäre es möglich, dass der Schattenkegel in den anderen hier noch nicht erwähnten Fällen störend einwirkt, das ist dann, wenn der Planspiegel oder der Concavspiegel weiter von der Lampe sich befindet oder wenn der letztere eine kürzere Brennweite hat.

Der Schattenkegel kann aber unter den vorausgesetzten Verhältnissen nur dann einen Einfluss auf den Strahleneinfall haben, wenn er bei Drehung des Spiegels in jenen hohlen von Strahlen durchsetzten Cylinder hineingeräth. Unter gewöhnlichen Verhältnissen ist er aber, wie wir gesehen haben, nicht breit genug hiezu, auch liegt seine Spitze recht weit von der Retina. Je tiefer die Spitze aber im Glaskörper liegt, desto mehr kann sie den Strahleneinfall beeinträchtigen. Dort wo die Spitze des Schattenkegels sehr tief im Glaskörper liegt und der Schattenkegel in der Pupille zugleich auch sehr breit ist, ist auch das Flammenbild sehr klein (z. B. beim Planspiegel: beim Abstande des Spiegels von 60 *cm* von der Lampe liegt die Spitze des Schattenkegels 4·16 *mm* vor der Retina, der Durchmesser des Schattenkegels in der Pupille = 2·0 *mm*, das Flammenbild hinter der Netzhaut = 0·7 *mm*). Dann kann man aber den Spiegel gar nicht stark drehen, ohne das Licht auf dem betrachteten Netzhautpunkte zu verlieren.

Aus diesem allen geht hervor: Handelt es sich um convergente Strahlenbündel, die auf die Netzhaut fallen (Planspiegel hauptsächlich, da man mit dem Concavspiegel fast nie convergente Strahlen auf die Netzhaut wirft) oder hat man bei divergentem Strahleneinfalle nur die mittleren Partien der beleuchteten Netzhautarea im Auge, so wird eine Drehung des Spiegels allein, ohne dass der Beobachter auch seinen Kopf bewegt, gar keinen nennenswerthen Einfluss auf den Einfall des Lichtes auf eine kleine spiegelnde Fläche der Retina haben. Liegt die Mitte des Spiegels auf der optischen Axe des Auges, so wird das beleuchtete Object für die

spiegelnde Fläche mit sehr geringen Modificationen immer jener ringförmige Randtheil der Pupille sein.

Anders liegen aber die Verhältnisse, wenn wir bei divergentem Strahleneinfalle die Randzone betrachten. Schon bei dem Strahleneinfalle in der Richtung der optischen Axe sahen wir, dass das Licht auf diese Randzone nur von einem gegenüberliegenden Theile der Pupille gelangt. Betrachten wir einen Punkt fo am hinteren Ende der optischen Axe des Auges, indem wir das Licht zunächst entlang der optischen Axe ins Auge werfen (Siehe Fig. 13), so fällt nach dem Obigen auf fo Licht von einem ringförmigen randständigen Theile der Pupille. Drehen wir nun, ohne den Kopf zu bewegen, den Spiegel so, dass der Punkt fo jetzt in die Randzone des Zerstreuungsbildes der Flamme zu liegen kommt, so ist das leuchtende Object für fo nicht mehr dieser ringförmige Theil der Pupille, sondern ein sichelförmiger Theil der Pupille, der so liegt, dass wenn das Flammenbild im Glaskörper durch eine Drehung des Spiegels gegen die Schläfenseite des untersuchten Auges auf der Retina auch schläfenwärts gewandert ist, diese Sichel dem temporalen Rande der Pupille anliegt und mit ihren Spitzen nasalwärts gerichtet ist. In Fig. 17, welche den Fall darstellt, wo man mit einem Spiegel von 8 *cm* Brennweite untersucht, während die Lampe 60 *cm* von ihm entfernt ist, geht der von l_1 nach fo gerichtete Strahl von l_1 nach a und von dort nach fo. Ausserdem geht der Strahl, welcher vom Spiegel parallel zur optischen Axe nach p_1 verläuft, von p_1 nach fo. Die Strahlen, welche parallel zur optischen Axe auf die Pupille zwischen p_1 und a auffallen, treffen also auf fo. Ziehen wir vom anderen Rande des Spiegelloches, von l_2, eine Linie parallel zur optischen Axe, so ist d ihr Durchschnittspunkt mit der Pupillarebene. Wenn entlang dieser Linie ein Strahl verlaufen würde, so würde er durch die brechenden Medien des Auges nach fo gebrochen. Wie die Figur zeigt, berührt aber eine von d nach fo gehende Linie gar nicht das im Glaskörper befindliche Flammenbild f_3f_4. In dieser Richtung gelangt also kein Licht ins Auge. Noch weniger können Linien, welche von dem Theile der Pupille zwischen p_2 und d aus nach fo gezogen werden, durch einen Punkt von f_3f_4 gehen.

Bezüglich der Breite der Randzone in dem Zerstreuungsbilde der Flamme ist noch zu bemerken, dass dieselbe nur unter gewissen Umständen eine ansehnliche ist, nämlich dann, wenn die Brennweite des Spiegels möglichst kurz ist und die Lichtquelle in grossem Abstande vom Spiegel sich befindet. In Wirklichkeit wird aber die Breite der Randzone noch durch einen Umstand vermindert. Wie oben auseinandergesetzt wurde, wird die Grenze zwischen Randzone und mittlerer Partie des Flammenzerstreuungsbildes durch die Linien bestimmt, welche man sich von den Rändern der Pupille durch die Endpunkte des Flammenbildes nach der Retina gezogen denken kann. Bei enger Pupille wird also die Randzone etwas

schmäler sein. Dann aber findet am Rande enger Oeffnungen Beugung des Lichtes statt, es wird also von p_1 und p_2 das Licht so abgelenkt, dass dadurch die Randzone noch mehr in ihrer Breite vermindert wird. Dies lässt begreifen, dass dieselbe überhaupt nur unter den günstigsten Verhältnissen genügend breit ist, damit die in ihr zur Beobachtung kommenden abweichenden Reflexerscheinungen wahrnehmbar werden.

2) Es wäre nun noch der andere Fall zu besprechen, wo der Spiegel und der Kopf des Beobachters zusammen verschoben werden. In Fig. 16 ist dies für einen bestimmten Fall dargestellt — für den Fall, wo die Lichtquelle von einem Concavspiegel von 18 *cm* Brennweite 30 *cm* entfernt ist. Das Flammenbild liegt hier 0·66 *mm* vor der Retina und ist 1·4 *mm* gross. Der Durchmesser des Schattenkegels ist in der Pupille 1·28 (in der Zeichnung wurde 1·3 angenommen) und seine Spitze hat 10 *mm* Abstand von der Retina.

Der Beobachter hat sich nun sammt dem Spiegel gegen die nasale Seite bewegt, so dass jetzt die optische Axe xx nicht mehr durch die Mitte des Spiegelloches verläuft. Das Flammenbild hat sich etwas temporalwärts verschoben, so dass das hintere Ende der optischen Axe fo nicht mehr in der Mitte des Zerstreuungsbildes der Flamme aber immer noch in dessen mittlerer Partie liegt.

Untersuchen wir nun den Strahleneinfall auf fo. Von l_2 und den benachbarten Theilen des Spiegels kann kein Licht mehr nach fo fallen. Ziehen wir eine Linie von fo nach p_2 und von da eine der optischen Axe parallele Linie, so wäre dies der Verlauf eines Strahles von der nasalwärts gelegenen Hälfte des Spiegels nach dem Punkte fo. Es zeigt sich aber, dass die so gezogene Linie gar nicht mehr den Spiegel trifft, vielmehr durch das Spiegelloch hindurch geht. Alles Licht, das von den Punkten des Spiegels neben l_2 durch den nasalen Theil der Pupille p_2a ins Auge tritt, kann nicht mehr auf fo fallen, sondern muss zu Netzhautstellen verlaufen, die temporalwärts von fo liegen. Wohl aber kommt Licht von dem temporalen Theile der Pupille nach fo. Ziehen wir von l_1 eine Parallele zur optischen Axe, so passirt dieselbe bei c die Pupille. Alle parallel zur optischen Axe vor dem Auge verlaufenden durch p_1c gehenden Strahlen erreichen fo.

Wenn wir also den Kopf und den Spiegel so verschieben, dass das Licht jetzt blos durch den beispielsweise temporalwärts gelegenen Theil der Pupille einfällt, dann bildet für innerhalb des beleuchteten Netzhautbezirkes gelegene Punkte der Netzhaut oder für kleine dort befindliche spiegelnde Flächen, ein sichelförmiger Theil der Pupille — genauer des Spiegels — das leuchtende Object. Die Sichel in der Pupille liegt bei dem gewählten Beispiele, wo man sich nasalwärts mit dem Spiegel bewegt hat, so, dass ihr äusserer convexer Rand dem temporalen Rande der Pupille anliegt, während ihre Concavität nasalwärts liegt. Diese Sichel muss natürlich umso breiter wer-

den, je mehr man sich mit dem Kopfe nach der Seite bewegt. Am breitesten wird sie sein, wenn man z. B. knapp neben dem nasalen Rande der erweiterten Pupille vorbeisieht.

Ganz der gleiche Vorgang wird bei dem Planspiegel und bei dem Concavspiegel von kürzerer Brennweite als Folge der Verschiebung des Spiegels zu beobachten sein. Wir können uns den ganzen bei dieser Verschiebung stattfindenden Vorgang dadurch veranschaulichen, dass wir einen kurzen hohlen Cylinder nehmen und denselben vor einer runden Oeffnung in einem Diaphragma, welches einen grösseren Durchmesser hat als der äussere Durchmesser des Cylinders, verschieben. Die Höhlung des Cylinders würde eben jenen vor dem Spiegelloche liegenden Bereich darstellen, durch welchen keine Strahlen nach fo gehen können; dagegen können dies jene Strahlen, die rings um den Cylinder herum parallel zur Cylinderaxe einfallen. Das Loch im Diaphragma stellt die Pupille dar. Befindet sich der Cylinder so vor dem Loche, dass seine Axe gerade durch die Mitte des Loches hindurchgeht, so ist es ein ringförmiger randständiger Theil des Loches, durch den die parallel zur Cylinderaxe verlaufenden Strahlen in das Loch treten könnten. Verschieben wir aber den Cylinder z. B. nach rechts, dann wird dieser ringförmige Theil an der Seite, nach welcher wir den Cylinder hin verschieben, immer schmäler und schliesslich können die parallel zur Cylinderaxe verlaufenden Strahlen nur mehr durch einen sichelförmigen Theil des Loches im Diaphragma gehen, welches links vom Cylinder liegt. Die Spitzen dieser Sichel schauen nach rechts.

Ist die reflectirende Fläche etwas grösser, so können wir nicht mehr von einem Strahlencylinder sprechen, d. h. wenn die Fläche am hinteren Ende der optischen Axe liegt, so sind es nicht blos solche Strahlen, die vor dem Auge der optischen Axe parallel verlaufen, welche zu der Fläche gelangen, vielmehr auch solche, welche vor ihrer Brechung durch die brechenden Medien des Auges mit der optischen Axe Winkel bilden. Wenn wir in Fig. 11 den Strahleneinfall statt für fo, also statt für einen Punkt oder eine minimale Fläche, für eine etwas grössere Fläche construiren, so werden noch Strahlen, welche vom Rande des Spiegelloches, also z. B. von l_1 ausgehen und zwischen a und e die Pupille durchsetzen, nach dieser grösseren Fläche gelangen. Die Gesammtmenge der Strahlen, welche auf diese Fläche treffen, stellt jetzt vor dem Auge nicht mehr einen hohlen Cylinder dar, sondern einen hohlen Kegel, dessen Spitze hinter der Pupille des beobachteten Auges liegt. Schliesslich wird aber der Theil der Pupille, durch welchen die Strahlen ins Auge treten, immer durch den Schattenkegel vor dem Spiegelloche begrenzt.

Die im Vorigen gegebene Darstellung beweist folgendes: D i e b l o s s e D r e h u n g d e s S p i e g e l s, o h n e d a s s d e r M i t t e l p u n k t d e s

Spiegels seinen Ort verlässt, bewirkt nur dann eine Aenderung im Strahleneinfalle auf eine kleine Netzhautstelle, wenn man mit einem Concavspiegel von kurzer Brennweite bei ziemlich grossem Abstande der Lichtquelle untersucht. Es muss die Drehung des Spiegels so vorgenommen werden, dass der Netzhautpunkt, den man betrachtet, einmal in der Mitte, dann nahe dem Rande des Zerstreuungsbildes der Flamme zu liegen kommt. Eine Verschiebung des Spiegels und des Kopfes des Beobachters wird immer eine Aenderung des Strahleneinfalles zur Folge haben, einerlei ob man mit dem durchbohrten Planspiegel oder irgend einem Concavspiegel ophthalmoskopirt.

---

3. Aenderung des Strahleneinfalls bei Ametropie.

Als wir oben den Einfall der Strahlen auf die beleuchtete Netzhautfläche im Ganzen betrachteten, fanden wir, dass bei der Untersuchung im verkehrten Bilde bei verschiedener Refraction des Auges meist auch eine andere Grösse des beleuchteten Netzhautbezirkes und eine verschiedene Vertheilung des Lichtes darin vorkommt. Es wird dies natürlich auch einen verschiedenen Strahleneinfall auf die einzelnen Punkte der Retina zur Folge haben.

Bei Myopie ist gewöhnlich ein grösserer Theil der Netzhaut beleuchtet, dafür aber die Beleuchtung der einzelnen Punkte eine geringere, ferner ist die Beleuchtung an der Peripherie der beleuchteten Netzhautpartie geringer.

Bei Emmetropie und noch mehr bei Hypermetropie ist die Beleuchtung der einzelnen Punkte der Netzhaut relativ stärker, das Flammenbild auf der Retina schärfer, der erhellte Retinalbezirk also auch nahe seinem Rande besser beleuchtet (siehe Seite 25 und 26).

Der Einfluss von Myopie und Hypermetropie auf die Beleuchtung einzelner Netzhautpunkte bei der Untersuchung im aufrechten Bilde geht schon grösstentheils aus dem auf Seite 25 und 26 über die Beleuchtung der Netzhaut im Allgemeinen Gesagten hervor. Es wäre noch einiges in dieser Richtung zu erwähnen und über den verschiedenen Einfluss des Spiegelloches bei Myopie und Hypermetropie nachzutragen.

Beim Helmholtz'schen Spiegel ist die Breite der Strahlenkegel, die zu einzelnen Netzhautpunkten verlaufen, immer durch die von den Rändern der Pupille gezogenen Linien bestimmt. Die in ihnen enthaltene Licht-

menge kann aber in Folge der grösseren Axenlänge des Auges bei Myopie und, wenn das Flammenbild im Glaskörper liegt, in Folge der Vertheilung des Lichtes auf einen grösseren Netzhautbezirk eine geringere sein.

Ist der Spiegel belegt und durchbohrt, so müssen die Strahlen, welche zu einzelnen Punkten der Retina gelangen sollen, bei Myopie vor dem Auge divergiren. Denken wir uns, dass in Fig. 13 die Linien l_1e und l_2g gegen das Auge zu divergiren würden, so müsste bei unveränderter Pupillenweite nur ein schmälerer ringförmiger Theil der Pupille das Leuchtobject für fo abgeben. Es wird also ein am hinteren Ende der optischen Axe liegender Punkt schwächer erleuchtet werden. Auch wenn wir weiter von fo abliegende Punkte in Betracht ziehen, so wird eine ähnliche Ueberlegung gelten. In Fig. 19 sind l_1f und p_1i die Begrenzungslinien des Strahlenbündels, welches nach m gelangt, wenn der Fernpunkt des untersuchten Auges 15 *cm* vor dem Auge liegt. Diese Linien divergiren eben von einem Punkte, welcher 15 *cm* vor dem Knotenpunkte des Auges auf der Linie mn liegt. Dieser Unterschied scheint also hier nicht sehr bedeutend und könnte wohl durch eine geringe Erweiterung der Pupille ausgeglichen werden.

Bei Hypermetropie zeigt sich natürlich das entgegengesetzte Verhalten. Die Strahlenbündel, welche in Fig. 13 bei Emmetropie vor dem Auge parallel verlaufen müssen, um zu dem hinteren Ende der optischen Axe zu gelangen, würden bei Hypermetropie gegen den hinter der Retina liegenden Fernpunkt des Auges convergiren müssen. Daraus würde eine stärkere Beleuchtung der einzelnen Netzhautpunkte resultiren.

II. Theil.

Reflexion der Lichtstrahlen an der Retina und Austritt derselben aus dem Auge.

Allgemeines.

In den folgenden Abschnitten sollen nun die einzelnen Reflexerscheinungen besprochen und ihre Erklärung versucht werden.

Es besteht zwischen den im ersten Abschnitte abzuhandelnden Reflexstreifen auf den Netzhautgefässen und den übrigen Netzhautreflexen ein bedeutender Unterschied. Bei den ersteren handelt es sich um Reflexe an einem Körper, welcher fast kein Licht durchlässt, nämlich um einen Reflex an der Blutsäule in den Gefässen, wie wir im Folgenden sehen werden. Die anderen Netzhautreflexe entstehen aber an der Trennungsfläche zweier durchsichtigen Medien.

Trifft Licht auf einen durchsichtigen Körper, so wird ein Theil des Lichtes regelmässig reflectirt, ein anderer dringt in den Körper ein. Hat der durchsichtige Körper aber einen geringeren Brechungsexponenten als das Medium, durch welchen das Licht zu ihm gelangt, so werden die Strahlen, die aus dem Medium mit dem grösseren Brechungsexponenten kommen, bei einem gewissen Einfallswinkel des Lichtes auf die Trennungsfläche bekanntlich in dieses zurückgeleitet — totale Reflexion.

Es ist zweifellos, dass der Brechungsexponent der Retina grösser ist als derjenige des Glaskörpers. Die innere Oberfläche der Retina kann glatt genug sein, um eine regelmässige Reflexion des Lichtes zu ermöglichen. Es würde sich fragen, ob auch innerhalb der Netzhaut an der Trennungsfläche einzelner Netzhautschichten eine solche regelmässige Reflexion erfolgen kann. Dazu müssten sie nicht nur verschiedene Brechungsindices, sondern auch glatte Begrenzungsflächen haben. Für das Letztere liegen anatomisch keine Anhaltspunkte vor und auch eine wesentliche Verschiedenheit im Brechungsindex der einzelnen Netzhautschichten ist sehr unwahrscheinlich. E. v. Jaeger (33) hat schon darauf aufmerksam gemacht, dass dann »eine so unendlich abweichende Strahlenbrechung, eine so massenhafte Lichtzerstreuung und Spiegelung stattfinden müsste, dass es nicht einzusehen ist, wie überhaupt regelmässige Bilder zu Stande kommen könnten und wie die Netzhaut in so hohem Grade durchsichtig erscheinen sollte«.

Noch ein anderer Unterschied besteht aber zwischen den Reflexstreifen auf den Netzhautgefässen und den übrigen Netzhautreflexen, ein Unterschied,

auf den schon in der Einleitung kurz hingewiesen wurde. Die Reflexstreifen auf den Gefässen sind, wenn auch nicht mit derselben Deutlichkeit, bei Personen des verschiedensten Alters sichtbar. Allerdings treten sie bei jugendlichen Individuen mit grösserem Glanze und grösserer Lichtstärke hervor, während sie in Augen alter Leute viel matter erscheinen; doch werden sie niemals ganz vermisst. Die übrigen Netzhautreflexe sieht man aber nur bei jüngeren Personen bis etwa zum 30. Lebensjahre, am allerschönsten aber bei solchen von unter 15 Jahren. Es zeigen sich dabei sehr bedeutende individuelle Verschiedenheiten. Es gibt Personen, bei denen sie besonders auffallen, so dass es vorkommt, dass sie von Ungeübten für einen pathologischen Befund gehalten werden.

Die Ursache für das Auftreten der Reflexe im jugendlichen Lebensalter könnte entweder in einer grösseren Verschiedenheit im Brechungsindex der in Betracht kommenden Medien oder in einer besonders günstigen Oberflächenbeschaffenheit der reflectirenden Flächen gesucht werden. Der ersteren Erklärungsweise nach müsste man annehmen, dass im Alter der Brechungsindex des Glaskörpers zunimmt, oder jener der Retina abnimmt. Für Beides sind keine Anhaltspunkte vorhanden. Dagegen ist es wohl zweifellos, dass die grössere Glätte der betreffenden spiegelnden Flächen bei jugendlichen Individuen das Zustandekommen der regelmässigen Reflexion besonders begünstigt. Endlich ist es wahrscheinlich, dass die vollkommenere Durchsichtigkeit der vor der Retina liegenden brechenden Medien in der Jugend sowohl für den Lichteinfall zur Netzhaut, als auch für den Verlauf des an ihr regelmässig reflectirten Lichtes von grossem Vortheile ist.

Andere in der Beschaffenheit des Auges liegende Umstände, welche auf die Entstehung der Netzhautreflexe Einfluss üben, werden weiter unten Berücksichtigung finden.

Die Bilder, welche durch regelmässige Reflexion des Lichtes an den spiegelnden Flächen der Retina entstehen, können natürlich keiner allgemeinen Besprechung unterzogen werden, da ihre Form, Grösse und Lage von der Beschaffenheit der spiegelnden Flächen abhängt. Wohl aber können wir uns hier fragen, ob es allgemeine Gesichtspunkte gibt, die zu beurtheilen gestatten, ob das Spiegelbild ganz oder theilweise vom Beobachter wahrgenommen werden kann. In dieser Richtung können wir Folgendes aussagen:

1. Das Spiegelbild der Pupille — oder richtiger bei der Untersuchung im verkehrten Bild das Spiegelbild eines gewissen Theiles des vom Auge entworfenen Bildes des Spiegels, bei der Untersuchung im aufrechten Bild das Spiegelbild eines gewissen Theiles des Spiegels kann nur dann in seiner Gänze vom Untersucher wahrgenommen werden, wenn es für den Beobachter ganz vor der spiegelnden Fläche liegt. Ist aber die spiegelnde Fläche sehr

klein, so dass nur ein Theil des Spiegelbildes vor ihr liegt, so wird eben nur dieser Theil dem Beobachter sichtbar sein.

2. Wenn eine spiegelnde Fläche auch so gross wäre, dass sie ein Bild des vom dioptrischen Systeme des Auges erzeugten Flammenbildes entwerfen würde, so ist nicht zu vergessen, dass dieselbe spiegelnde Fläche auch ein Bild der Pupille entwerfen muss und dass der regelmässige Reflex von der spiegelnden Fläche dem Untersucher nur innerhalb dieses Bildes der Pupille erscheint. Wir werden später auf diesen Umstand noch zurückkommen.

I. Abschnitt.

Die Reflexstreifen auf den Netzhautgefässen.

Literatur.

Die Lichtreflexe auf den Netzhautgefässen stellen sich bekanntlich als helle Streifen in der Mitte derselben dar; sie sind an den Arterien und Venen zu sehen, an den Ersteren aber lichtstärker und breiter, an den Venen undeutlicher und schmäler. Man kann diese Streifen bei etwas intensiverer Beleuchtung bis in feine Gefässverzweigungen noch verfolgen, bei den Arterien weiter als bei den Venen. Die Reflexe sind auf den Gefässen von grösserem Caliber entsprechend breiter, auf den dünneren Aesten schmäler.

Helmholtz (1.) spricht von doppelten Contouren der Wandung an der Arterie, welche Erscheinung von van Trigt (2.) auf den Reflex in der Mitte der Gefässe und die denselben begleitenden rothen Streifen zurückgeführt wurde. E. v. Jäger (5.) gibt dafür die genauere Erklärung. Die Lichtstrahlen, welche die Höhe der Wölbung der cylindrischen Gefässe senkrecht treffen, werden von den Gefässen in derselben Richtung wieder zurückgeworfen und gelangen in das Auge des Beobachters, während jene Lichtstrahlen, welche auf die abfallenden Theile der Wölbung gelangen, seitlich reflectirt werden und so vom Beobachter nicht wahrgenommen werden können. Der Reflexstreifen auf den Gefässen verschwindet, wenn das Gefäss nicht senkrecht zu der Richtung der Sehaxe des Beobachters verläuft, wie z. B. bei Netzhautabhebung. Die Gefässe sind nach Jäger in Wirklichkeit ihrer Breite nach vollkommen gleichmässig gefärbt und lassen kein Licht durchdringen. Als Beweis dafür wird von Jäger das obenerwähnte Verschwinden der Reflexstreifen bei schräger Richtung des Gefässes zur Sehaxe des Beobachters angeführt, dann der Umstand, dass die lichtere Arterie, wenn sie über die dunklere Vene verläuft, ihre Färbung und helle Mitte unverändert beibehält, dass »die helle Mitte bei leichten Schwankungen des Augenspiegels sich ebenfalls seitlich verschiebt und bei veränderter Beleuchtungsart, wie bei Spiegeln mit sehr kurzer Brenn-

weite, vollkommen verschwindet.« Als das, was den Reflex auf den Gefässen erzeugt, wird von Jäger ihre Wandung bezeichnet.

Mauthner (11) sagt, indem er die Jäger'sche Erklärung der Entstehung des Reflexstreifens bespricht: »Wenn diese Erklärung richtig ist, so wird der Reflex je nach der Stellung unserer Gesichtslinie wandern müssen und dies geschieht auch in der That. Wenn wir das Gefäss nicht von vorne, sondern durch Aenderung der Kopf- und Spiegelhaltung seitlich betrachten, so weicht der lichte Reflex gleichfalls zur Seite.«

Im Jahre 1870 hat nun Edw. Loring (14.) eine andere Erklärung der Entstehung des Reflexstreifens auf den Gefässen zu begründen versucht. Er ist der Ansicht, dass der Reflexstreifen nicht an der vorderen Wand der Gefässe entstehe, sondern durch Reflex an der hinteren Wand der Gefässe, hauptsächlich aber durch Reflex von den dahinter liegenden Geweben, indem das reflectirte Licht durch die Gefässe wie durch eine Linse gebrochen werde und hauptsächlich durch die Mitte durchgehe. Dabei stützt er sich besonders auf ein Experiment, wo eine mit einer Carminlösung gefüllte Röhre bei Beleuchtung mit dem Augenspiegel nur dann den hellen Streifen in der Mitte zeigte, wenn sie sich vor einer spiegelnden Fläche befand, während der helle Streifen nicht zu sehen war, sobald die Röhre vor einem dunklen Hintergrunde betrachtet wurde.

Diese Theorie erfuhr von Nagel (17.) eine Entgegnung und veranlasste eine Vertheidigung der älteren Erklärungsweise durch Schneller (20.). Dieser weist in Betreff der Undurchdringlichkeit der Netzhautgefässe für Licht noch auf die Verlängerung des Mariotte'schen Fleckes an den Austrittsstellen der grossen Gefässe aus dem Sehnerven und auf die dunklen Schatten der Gefässe bei der entoptischen Wahrnehmung hin. Der Beweis für die Reflexion an der vorderen Wand der Gefässe wird von ihm in folgender Weise geführt:

1. Es entspricht der Streifen in Länge und Breite der geforderten Grösse. Schneller hat zwei verschiedene Spiegel verwendet, einen solchen von 22 *cm* Brennweite und einen von 14 *cm* Brennweite, welche Beide 30 *cm* von der Lampe entfernt gehalten wurden. Es wird nun die Grösse des Flammenbildes, das vom Spiegel geliefert wird und dann die Grösse des vom Auge im Glaskörper entworfenen Bildes berechnet. Schneller findet, dass das Bildchen im Auge sich für den ersten Spiegel (von 22 *cm* Brennweite) zur Lichtquelle verhält wie 0·0495 : 1, für den zweiten Spiegel wie 0·04865 : 1. Da der Durchmesser der Lampenflamme mit 15 *mm* angegeben wird, so wäre das Bild im Auge beim ersten Spiegel 0·7425, beim zweiten Spiegel 0·72975 *mm* gross. Dieses Flammenbild im Glaskörper wird als das leuchtende Object für die vordere spiegelnde Fläche des Gefässes angesehen und dann die Grösse des von den Gefässen gespiegelten Bildchens berechnet. Dabei nimmt Schneller den Durchmesser

der Arterienäste der ersten Theilung mit 0·1 *mm*, den der zweiten Theilung mit 0·07 *mm*, den der dritten mit 0·05 *mm* an und findet schliesslich, dass das Bildchen bei Anwendung des ersten Spiegels $\frac{1}{2 \cdot 2}$ — $\frac{1}{2 \cdot 3}$, beim zweiten Spiegel $\frac{1}{6 \cdot 5}$ — $\frac{1}{7}$ des Gefässdurchmessers einnimmt. Es wäre also der Reflexstreifen mit dem Spiegel von 22 *mm* Brennweite dreimal so breit, als mit dem Spiegel von 14 *cm* Brennweite. Wie Schneller meint, geht aus dieser Rechnung auch hervor, warum der Reflexstreifen bei kurzer Brennweite des Spiegels bis zum Verschwinden schmal werden kann.

2. Schneller gibt dann weiter als Beweis für die Spiegelung an der vorderen Fläche der Gefässe an, dass der Reflexstreifen auf den Gefässen sich gleichförmig mit dem Beleuchtungsbilde bewegt. Er sagt: »Lässt man das Flammenbildchen auf der Netzhaut so wandern, dass bald sein einer, bald sein anderer Rand das Gefäss deckt, so wandert der Reflexstreifen in demselben Sinne mit. Es ist das im Allgemeinen schwer, und am leichtesten noch mit Spiegeln kürzerer Brennweite und auf den Venen zu beobachten.«

3. Der Streifen auf den Gefässen ist weiss, während er nach Lorings Erklärung roth erscheinen müsste.

4. Bei Schlängelung des Gefässes senkrecht auf die Ebene der Netzhaut ist der Streifen auch der Länge nach an der convexen Stelle des Gefässes verkürzt, was sich nicht durch Brechung, sondern nur durch Spiegelung erklären lässt.

5. Der Reflex von der vorderen Wand erklärt auch das Verschwinden des Reflexstreifens, wenn ein Gefäss nicht senkrecht zur Blicklinie des Beobachters verläuft.

Mit Recht weist Schneller weiter darauf hin, dass man nicht ersehen kann, von wo das Licht aus der Substanz des Sehnerven hinter den Gefässen regelmässig reflectirt werden könnte. Der Reflexstreifen müsste ferner, wenn er so, wie Loring meint, entsteht, matt und schlecht begrenzt erscheinen wegen der Diffusion und Absorption des Lichtes durch das Blut. Schneller erklärt somit die hellen Streifen auf den Netzhautgefässen für Spiegelbilder der Lichtquelle, entworfen durch die vordere Gefässwand.

Becker (22) neigt sich nach Beobachtungen, die unter dem Mikroskope am Mesenterium des Frosches gemacht wurden, mehr der Loring'schen Ansicht zu, ohne sich bestimmt auszusprechen. Doch waren die Verhältnisse der Beleuchtung bei seinen Beobachtungen durchaus nicht dieselben wie bei der Augenspiegeluntersuchung.

Donders (26) vertheidigt die alte van Trigt'sche Erklärung des Reflexstreifens, da der Blutcylinder nicht durchscheinend ist, das Bild hinter und nicht vor der Gefässwand entsteht und da der Lichtstreif auf einer Arterie, die über eine dunkle Vene verläuft unverändert sichtbar

ist. Das durch die Blutsäule getretene Licht müsste ferner nach den zahlreichen Reflexionen und Brechungen vollkommen diffus sein, könnte also kein Bild liefern.

Die Arbeit Schnellers und der Widerspruch Nagels veranlassten Loring später (25.) zu einer neuen Besprechung dieses Gegenstandes. Er wendet sich hauptsächlich gegen die Resultate der Berechnung Schnellers, nach welcher bei Gebrauch von Spiegeln verschiedener Brennweite die Reflexstreifen auf den Gefässen auch sehr bedeutend in ihrer Breite wechseln müssten. Loring hat Spiegel von $1^3/_8''$ und von $^7/_8''$ Brennweite benützt und damit den Reflexstreifen gesehen. Auch müsste, meint Loring, der Reflexstreifen eine verschiedene Breite zeigen, wenn das Flammenbild im Glaskörper eine andere Grösse hat. Diese ist aber bestimmt durch die Entfernung der Lichtquelle vom Spiegel. Wenn Schnellers Erklärung richtig wäre, so sollte also der Reflexstreifen schmäler werden, wenn die Lampe weiter vom Spiegel entfernt ist. Loring hat die Lampe in 20 Fuss vom Spiegel aufgestellt und konnte auch so den Reflexstreifen fast genau in derselben Breite sehen wie früher. Auch die Breite der Lampenflamme hatte keinen Einfluss. Deshalb hält Loring an seiner Ansicht fest und behauptet, experimentell durch die angegebenen Versuche erwiesen zu haben, dass der Reflexstreifen nicht durch Reflex an der vorderen Fläche der Gefässe entstehen könne. Auch glaubt Loring, dass die Unterschiede in den Brechungsindices im Auge dazu viel zu geringe wären. Die Beobachtung, dass mit Spiegeln von kürzerer Brennweite die Reflexstreifen weniger deutlich erscheinen, wäre nach Loring darin zu suchen, dass bei solchen Spiegeln die Strahlen sich weiter vorne im Glaskörper überkreuzen und wieder auseinanderfahren, so dass weniger und minder lichtstarke Strahlen die Gefässe treffen. Die geringere Deutlichkeit der Reflexstreifen bei Myopie erklärt Loring folgendermassen: 1. Die Axe des myopischen Auges ist länger, die Strahlen überkreuzen sich weiter vorn; 2. ein Theil des Lichtes wird durch die Correctionsgläser aufgehoben.

Krenchel (27) gibt an, dass der helle Streifen auf den Netzhautgefässen des Frosches bei der Untersuchung im polarisirten Lichte und Kreuzung der beiden Nicols verschwindet.

Ed. v. Jaeger war schon, abweichend von seiner früheren Ansicht im Jahre 1869 (13.) dafür eingetreten, dass der Reflex nicht von der Gefässwand, sondern von der vorderen Fläche der Blutsäule in den Gefässen gebildet wird. Näher hat er diese Ansicht später begründet (33.). Neben den schon erwähnten Beweisen dafür, dass die Netzhautgefässe kein Licht durchlassen, macht Jaeger noch geltend, dass man auch ophthalmoskopisch unter gewissen Verhältnissen einen Kernschatten zur Anschauung bringen kann, den die Gefässe auf die unterliegenden Gebilde werfen. Es bleibt also somit nur die Möglichkeit, dass entweder die vordere Fläche der Gefässwand

spiegelt oder die vordere Fläche der Blutsäule. Jaeger nimmt das Letztere aus folgenden Gründen an: 1. Es verschwindet der Reflex, wenn das Gefäss blutleer wird. 2. Wäre die Gefässwand weniger durchsichtig, so müsste sie auch zu beiden Seiten der Blutsäule mehr oder weniger deutlich sichtbar sein. 3. Wäre sie durchsichtig, aber von einem anderen Brechungsexponenten, so wäre sie und besonders ihre Ränder auch zu sehen und es würden die aus der Tiefe durch sie hindurchgehenden Strahlen eine Ablenkung erfahren, was aber nicht der Fall ist, wie man besonders wahrnehmen kann, wenn 2 Gefässe sich kreuzen. Man kann da den Reflex auf dem unterliegenden Gefässe ganz unverändert bis zum Rande der rothen Blutsäule des darüber liegenden Gefässes verfolgen. Jaeger hat alle die Verhältnisse, die sich bei verschiedenem Brechungsexponenten der Gefässwand und des sie umgebenden Mediums ergeben, durch Versuche mittels Glasröhren nachgeahmt und ebenfalls gefunden, dass die Wandung der Glasröhren nur dann vollkommen verschwindet, wenn die umgebende Flüssigkeit denselben Brechungsexponenten wie das Glas hat. Dann kann man, wenn man zwei dieser Glasröhren, die mit einer Farbstofflösung gefüllt waren, kreuzt, auch den Reflex des tiefer liegenden Rohres bis zu dem Rande der gefärbten Flüssigkeitssäule in der darüber liegenden Röhre sehen, was nicht möglich ist, sobald die Glasröhren sich in der Luft oder in einer Flüssigkeit befinden, deren Brechungsindex wesentlich von jenem des Glases verschieden ist. Jaeger kommt also zum Schlusse, dass nur die Blutsäule in den Gefässen, nicht aber die Gefässwand den Reflex hervorrufe, so dass man eigentlich betreffs des Augenspiegelbildes nicht von den Netzhautgefässen, sondern nur von den Blutsäulen in den Netzhautgefässen sprechen kann.

Parent (37) erklärt sich gegen die Anschauung Lorings und für die neuere Anschauung Jaegers, dass der Reflex bloss von der Blutsäule in den Gefässen herrühre. Doch bestreitet er die Behauptung Schnellers, dass der Reflex bei Verwendung von Spiegeln kürzerer Brennweite kleiner werde.

Schneller (40.) kommt bei Gelegenheit einer anderen Arbeit noch einmal auf die Reflexstreifen auf den Netzhautgefässen zurück, wobei er seine Meinung entgegen den von Loring vorgebrachten Einwänden festhält. Er erwähnt zunächst, dass die Wandung der Gefässe sich in Form weisslicher Begleitstreifen an den Arterien und Venen erkennen lasse. Schneller setzt ferner den Berechnungsexponenten der Retina gleich jenem des Glaskörpers und nimmt folglich an, dass der Brechungsindex des Blutes grösser sei als der der Retina.

Im Jahre 1883 hat sich Ostwalt (46.) neuerdings mit der Frage der Entstehung der Reflexstreifen auf den Netzhautgefässen beschäftigt. Er hebt zunächst hervor, dass nach dem Befunde am Froschauge es auch

möglich wäre, dass der helle Streifen auf den Netzhautgefässen der Ausdruck des Axenstromes ist, der durch die schnelle Bewegung seiner Theile, der Blutkörperchen, den Eindruck des Glanzes hervorruft. Der Reflex müsste dann verschwinden, wenn die Circulation zum Stillstande kommt. Ostwalt hat bei Hunden den Opticus zwischen eine Klemmpincette gefasst und sah dann, dass die Reflexstreifen auf den Venen an den der Papille angrenzenden Partien bis auf eine Strecke von zwei Papillenbreiten verschwindet. Die grösseren Arterien werden enger, zeigen aber immer noch den glänzenden Streifen, der sich mit Verengerung der Arterie auch verschmälert hat. Bei einer Unterbindung des Opticus wurde an einem Stücke einer Vene mit farblosem Inhalt der Reflexstreifen auch gesehen, weshalb Ostwalt der Gefässwand eine wichtige Rolle bei der Entstehung des Reflexstreifens zuschreibt.

Ostwalt setzt dann weiter auseinander, dass, wenn es sich um einen Reflex an der vorderen Wand der Gefässe handelt, gerade keine Wanderung des Reflexstreifens bei Drehung des Spiegels wahrnehmbar sein könne. Er erklärt auch diese Beobachtung, die von Jaeger und Mauthner als Beweis für die Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule oder der Gefässwand angeführt wurde, für einen Irrthum, dadurch vielleicht hervorgerufen, dass der Reflexstreifen, sobald ein Gefäss in der Nähe des Randes des Zerstreuungsbildes der Flamme auf der Netzhaut liegt, infolge der daselbst geringeren Beleuchtung nicht mehr zu sehen ist. Es soll der Wechsel von erscheinenden und verschwindenden Streifen sein, der den Eindruck des Wanderns hervorrufe. Ostwalt erläutert seine Ansicht in einer Figur. Er sagt, dass von den von einem Punkte der Lichtquelle ausgehenden Strahlen durch die Pupille ein kegelförmiges Stück herausgeschnitten wird, dessen Spitze in dem Punkte liegt, der das Bild des aussen befindlichen Lichtpunktes ist. Zieht man nun von den Rändern der Pupille Linien zu dem Mittelpunkte des Gefässdurchschnittes, so wird durch dieselben ein gewisses Stück der Gefässoberfläche begrenzt. Nur Strahlen, die nach einem Punkte dieses Stückes der Gefässoberfläche gehen, können nach ihrer Reflexion aus dem Auge herausgehen und also vom Beobachter gesehen werden. Deshalb kann die Drehung des Spiegels keine Verschiebung des Streifens hervorbringen. »Wir sehen das Gefäss so lange, als es sich innerhalb der beleuchteten Netzhautpartie befindet; dabei bleiben die Theile des Gefässes, von denen reflectirte Strahlen aus dem Auge herausgelangen können, selbstredend dieselben wie vorher, nur dass es andere Theile der Flamme sind, von denen diese Gefässtheile ihre Strahlen empfangen.« Je platter das Gefäss wird, desto schmäler soll der Streifen werden. Denkt man sich das Gefäss comprimirt, während die Mitte des Gefässdurchschnittes an ihrer Stelle bleibt, so werden die Linien, die man von den Rändern der Pupille zu dieser Mitte des Gefässdurch-

schnittes zieht, ein schmäleres Bogenstück der Oberfläche des Gefässes abschneiden. Dies soll erklären, warum die Streifen auf den Venen weniger breit sind als auf den Arterien. Die Venen sind eben bedeutend platter.

Bei geringerer Füllung werden die Streifen schmäler, bei stärkerer Füllung breiter. Für Beides führt Ostwalt Beobachtungen an, die sich bei seinen Experimenten ergaben. Bei einer Unterbindung des Opticus entleerte sich der grösste Theil der Venen fast ganz, indem wahrscheinlich eine oder die andere Vene von dem Faden durchschnitten war. Nur eine Vene, deren Füllung doch auch abgenommen haben musste, zeigte ihre normale Breite, doch war der Reflexstreifen bis auf eine geringe Andeutung verschwunden. Dagegen wurde eine Verbreiterung der Streifen gesehen in einem Falle, wo einem Hunde in die Vena femoralis eine seiner Blutmenge fast gleiche Menge gefärbter Flüssigkeit injicirt wurde und ferner in einem Falle, ebenfalls bei einem Hunde, nach Einathmung von Amylnitrit. Dass der Reflexstreifen bei Compression des Opticus an den grössten Venen fast ganz verschwindet, wird durch Abplattung der Venen erklärt.

In neuester Zeit endlich ist Davis (62.) für die Theorie Lorings eingetreten. Er wiederholte Lorings Experimente nur mit der Modification, dass er nicht mit Farbstofflösung gefüllte Röhren verwendete, sondern durch eine Röhre den Blutstrom aus der Carotis einer Katze leitete. Hiebei beruft sich Davis auf zwei von Noyes (60.) als Stütze der Ansicht Lorings angeführte Beobachtungen: Noyes erwähnt nämlich einen Fall, bei dem eine Netzhautvene über eine unter der Chorioidea liegende Blutung verlief. Dort, wo das Gefäss über dem dunklen Fleck lag, zeigte es keinen Reflexstreifen. Dieser zeigte sich aber wieder und sogar mit grösserer Lichtstärke, als die Blutung resorbirt war und eine atrophische Partie der Chorioidea die Sklera durchscheinen liess. Der andere Fall war der eines grossen weissen Herdes in der Netzhaut (»colloid deposit«). Hier war der Reflexstreifen auf einem darüber liegenden Gefässe (Arterie) so verbreitert, dass er das ganze Gefäss einnahm und dieses »ein breites Band von Licht« darstellte.

Eigene ophthalmoskopische Beobachtungen.

Von allen Beobachtern wird angegeben, dass die Reflexstreifen auf den Arterien heller sind und deutlicher hervortreten als auf den Venen. Die Meisten finden auch den Streifen auf den Arterien breiter als auf den Venen. Nur bei Mauthner (11) fand ich die Bemerkung, dass der Reflex auf den Venen weniger scharf markirt, aber breiter ist.

Ich kann Mauthner hierin nicht beistimmen. Der Reflexstreifen auf den Arterien erscheint nicht nur lichtstärker, heller, sondern auch breiter als auf den Venen gleichen Calibers, ja auf kleinen Arterien ist er sehr oft deutlich breiter als auf grösseren Venen. Man kann dies am besten constatiren, wenn eine dünnere Arterie neben einer dickeren Vene verläuft. Häufig ist der Reflexstreifen selbst an den stärksten Venen nur sehr undeutlich und schmal, selbst kaum wahrzunehmen, so dass auf den auf der Papille befindlichen Venen häufig gar keine Reflexstreifen zu sehen sind, wie dies auch Königstein (59.) erwähnt.

Die Farbe des Reflexstreifens betreffend, ist derselbe auf den Venen fast rein weiss, glänzend oder nur schwach röthlich-weiss, auf den Arterien aber deutlich hellroth, glänzend.

Betrachtet man die Tafeln des grossen Jaeger'schen Atlas auf diese Verhältnisse, so wird man finden, dass dort die Reflexstreifen auf den Arterien sowohl als auf den Venen viel zu breit dargestellt sind. Auch fehlt der Unterschied in der Breite der Streifen und in der Farbe bei den Reflexstreifen der Arterien und Venen, obwohl des ersteren Unterschiedes im Texte Erwähnung geschieht. Ferner sind die Gefässreflexstreifen nie so gleichmässig in dem ganzen Verlaufe der verschiedenen Gefässverästelungen, dem Caliber des Gefässes entsprechend wahrnehmbar, wie es dort gezeichnet ist. Es gibt Stellen im Verlaufe eines grösseren Astes, wo sie schmäler sind, als an manchem kleineren Aste desselben Gefässes. Hierin zeigen übrigens Arterien und Venen auch ein verschiedenes Verhalten. Auf den Arterien ist im Verlaufe der Reflexstreifen ziemlich gleichmässig von den grösseren auf die kleineren Aeste hin an Breite abnehmend zu sehen. Auf den Venen aber wechselt die Breite der Reflexstreifen sehr oft innerhalb eines Gefässstückes von gleicher Breite und manche Stellen des Gefässes erscheinen ganz ohne Reflexstreifen.

So sehr die Tafeln des Liebreich'schen Atlas sonst gegen die bekanntlich so vortrefflichen Bilder Jaegers zurückstehen, so sind doch auf den Abbildungen des normalen Fundus in Liebreichs Werke (7) diese Verhältnisse insoferne richtiger wiedergegeben, als die Reflexstreifen auf den Arterien breiter gezeichnet sind als jene auf den Venen (Siehe Taf. I., dann Taf. II. Fig. 2, 3, 4, 5. In Taf. II. Fig. 1 zeigen die Arterien gar keine doppelten Contouren. Sie erscheinen vollständig gleichförmig hellroth — ein Verhalten, das ich nie gesehen habe und das wohl auch sonst Niemand gesehen haben dürfte).

Die Breite des Reflexstreifens im Verhältnis zum Durchmesser des Gefässes nimmt von den grösseren zu den kleineren Aesten hin ab. Sie ist aber völlig unabhängig von der Wahl des Spiegels, von der Entfernung des Spiegels von der Lampe, von der Breite der Flamme. Man sieht den Reflexstreifen in seiner Breite unverändert, ob man einen Helm-

holtz'schen Spiegel oder einen belegten, durchbohrten Plan- oder Concavspiegel nimmt. Auch die Brennweite des Letzteren hat keinen Einfluss. Ich habe die Lampe in einer Entfernung von 3 Meter und mehr vom Spiegel aufgestellt. Auch da erschien der Reflexstreifen in der gleichen Breite. Nur manchmal sind bei nicht künstlich erweiterter Pupille die Reflexstreifen etwas schmäler, sobald man einen Concavspiegel von 8 *cm* Brennweite verwendet.

Wohl aber wechselt die Breite des Streifens mit der Weite der Pupille. Untersucht man zuerst bei enger Pupille (von 3—4 *mm* Durchmesser), so scheint der Reflexstreifen auf den Arterien etwa $^1/_4$—$^1/_3$ (Fig. 20, a, b) des Gefässdurchmessers einzunehmen, auf den Venen viel weniger, nur $^1/_{12}$—$^1/_{10}$ des Gefässdurchmessers (Fig. 20 c, d).

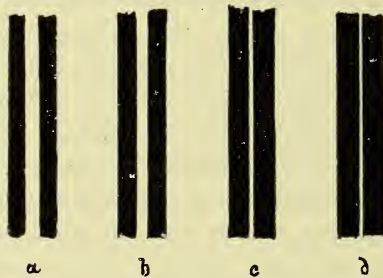


Fig. 20.

Erweitert man die Pupille durch ein Mydriaticum auf 10 *mm*, so ist die Breite des Streifens auf den Arterien nicht deutlich vergrössert. Auf den Venen sind die Reflexstreifen aber meist deutlich breiter. Man kann manchmal diese Zunahme der Breite auf das Doppelte oder fast das Doppelte gegen früher abschätzen. Oft kann man sich aber nur sehr schwer von der erfolgten Breitenzunahme der Reflexstreifen überzeugen. Es kann dies nicht Wunder nehmen. Die Reflexstreifen werden natürlich bei weiter Pupille infolge der grösseren ins Auge dringenden Lichtmenge an und für sich heller, glänzender. Zugleich sind aber die dunklen Partien des Gefässes neben den Reflexstreifen durch diffus reflectirtes Licht heller als bei enger Pupille. So kommt es, dass mitunter die Reflexstreifen bei enger Pupille auf dem Gefässe mehr in die Augen springen und auch breiter erscheinen können, als sie wirklich sind, da sie sich auf einer dunklen Unterlage befinden. Dieser Umstand macht die Beurtheilung der verschiedenen Breite der Streifen bei enger und weiter Pupille oft unsicher. Dennoch kann man bei genauer Beobachtung die Verbreiterung der Streifen bei Erweiterung der Pupille, wenigstens auf den Venen, zweifellos feststellen.

Ich habe mich, um die Breite der Streifen besser abschätzen zu können, des folgenden Mittels bedient. Es wurden die Gefässe mit ihren Reflexstreifen nach Art der Fig. 20, die rothen Blutstreifen durch Tuschstreifen, die Reflexstreifen durch einen weissgelassenen Raum dargestellt. Die Breite jedes einzelnen dieser Gefässbilder betrug 12 *mm*. Der centrale Reflexstreifen hatte nun bei jedem auf diese Weise dargestellten Gefässe eine andere Breite. Bei dem ersten nahm er die Hälfte des Gefässdurchmessers ein, bei dem zweiten $^1/_4$, bei dem dritten $^1/_6$, bei dem vierten $^1/_8$, bei dem fünften $^1/_{10}$, bei dem sechsten $^1/_{12}$, bei dem siebenten $^1/_{14}$. Vergleicht man diese Skala mit dem Augenspiegelbilde eines Gefässes, so ist es ziemlich leicht anzugeben, welche Breite der Reflexstreifen im Verhältnisse zum Durchmesser des Gefässes hat. Ist der Streifen sehr dünn, so ist die Abschätzung natürlich sehr schwer. Doch kann man wenigstens sagen: Der Reflexstreifen hat etwa $^1/_{10}$—$^1/_{12}$ des Gefässdurchmessers.

Wie schon erwähnt, sind bei weiter Pupille auch alle Reflexstreifen heller und glänzender als bei enger Pupille. Ferner kann man bei Mydriasis die Reflexe meist auf viel kleinere Gefässe verfolgen, als dies bei enger Pupille möglich ist, so dass die Reflexe jetzt auf Gefässen auftauchen, auf denen früher keine sichtbar waren.

Die Lichtstärke, der Glanz der Streifen wird aber entschieden durch verschiedene Spiegel, wechselnde Stellung derselben zur Lichtquelle oder grössere Intensität dieser Letzteren beeinflusst. Mit dem Helmholtz'schen Beleuchtungsapparate sind die Gefässreflexstreifen alle sehr lichtschwach, lichtstärker bei Verwendung des Planspiegels oder des Concavspiegels. Auch werden sie bei Annäherung der Lampe an den Spiegel glänzender und heller.

Betrachtet man nun den Reflex auf einem bestimmten Gefässe, wenn man mit dem Helmholtz'schen Spiegel, dem Planspiegel oder einem schwachen Concavspiegel von 18 *cm* Brennweite untersucht, so kann man durch blosse Drehung des Spiegels um irgend eine Axe desselben, wenn der Mittelpunkt des Spiegelloches seinen Ort vor dem Auge nicht ändert, gar keine Verschiebung des Reflexstreifens auf dem Gefässe hervorrufen. Nimmt man aber einen starken Concavspiegel von 8 *cm* Brennweite und stellt die Lampe ziemlich weit von demselben auf — etwa 50—60 *cm* — dann kann man eine Verschiebung des Reflexstreifens bei Drehung des Spiegels beobachten. Wirft man nämlich das Zerstreuungsbild der Flamme so auf den Augenhintergrund, dass das Gefäss am Rande der beleuchteten Netzhautpartie zu liegen kommt, und dreht dann den Spiegel so, dass dasselbe Gefäss jetzt nahe dem entgegengesetzten Rande des beleuchteten Netzhauttheiles sich befindet, so wird man dabei eine deutliche Verschiebung des Reflexstreifens auf dem Gefässe u. zw. im Sinne der Drehung des Spiegels (also auch der Richtung der Bewegung des Flammenbildes im Auge) sehen.

Diese Bewegung ist natürlich nicht an allen Gefässen mit der gleichen Deutlichkeit wahrzunehmen.

Bewegt man, während man z. B. ein verticales Gefäss fixirt, den Kopf sammt dem Spiegel zur Seite, so scheint sich der Reflexstreifen in der entgegengesetzten Richtung auf dem Gefässe zu verschieben. Es gelingt diese Beobachtung bei Anwendung verschiedener Spiegel, nur scheinen die Excursionen oft bei der Untersuchung mit einem belegten, durchbohrten Spiegel grösser zu sein, als mit dem Helmholtz'schen Spiegel. Bedingung für die Wahrnehmbarkeit der Erscheinung ist nur ein genügend grosser Durchmesser der Pupille, doch muss die Pupille nicht künstlich erweitert sein. Es gelingt schon bei einer von Natur aus ziemlich weiten Pupille, die sich bei der Augenspiegeluntersuchung nicht bedeutend verkleinert, die Verschiebung zu sehen. Unter diesen Umständen kann man auch ganz dieselbe Bewegung des Reflexstreifens sehen, wenn man mit einem Helmholtz'schen Spiegel untersucht, denselben vollständig ruhig hält und nur hinter dem Spiegel den Kopf nach rechts und links verschiebt.

Selbstverständlich treten die Verschiebungen der Reflexstreifen auch an den horizontal verlaufenden Gefässen auf, sobald die Bewegungen des Spiegels und des Kopfes, respective des Kopfes allein in verticaler Richtung ausgeführt werden.

Erklärung der ophthalmoskopischen Erscheinungen.

Die von Loring gegebene Erklärung für das Zustandekommen der Reflexstreifen auf den Gefässen ist entschieden unannehmbar. Das einzige Argument, dass die Netzhautgefässe bei der entoptischen Wahrnehmung als dunkle Schatten erscheinen, genügt meiner Ansicht nach, um Lorings Theorie zurückzuweisen. Es ist gar nicht daran zu denken, dass ein Körper, der auf seine Unterlage einen Schatten wirft, durch Brechung des von dieser Unterlage reflectirten und durch ihn gehenden Lichtes, in einem Theile seiner Oberfläche lichter erscheint als die Unterlage selbst.

Die Fälle, die Noyes als Stützen für Lorings Anschauung anführt, können nicht als solche angesehen werden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass vor einer ausgebreiteten Blutung in der Chorioidea eine Trübung der Netzhaut vorhanden ist, die, wenn sie auch leicht ist, die Ursache für das Verschwinden des Reflexstreifens abgeben kann, worauf schon Jaeger hinweist. Im 2. Falle erschien ein Gefäss im Bereiche eines weissen Herdes in der Retina ganz weiss (»a band of light«). Es wird wohl jeder, der dies liest, auf den Gedanken kommen, dass es sich dabei um eine Verdickung der

Gefässwand gehandelt habe und nicht um eine Durchleuchtung des Gefässes, durch das von dem Herde reflectirte Licht. Wenn das Letztere der Grund wäre, dann müssten ja doch die Netzhautgefässe überall dort weiss aussehen, wo sie bei Chorioideal-Atrophie über der weiss reflectirenden Sklera verlaufen.

Der Reflexstreifen kann nur durch Reflexion des Lichtes an der Gefässwand, an der Blutsäule oder innerhalb der Blutsäule entstehen. Dass die Gefässwand nicht Anlass zur Bildung des Reflexstreifens geben kann, hat Jaeger durch seine Beobachtungen und Versuche erwiesen. Jene Beobachtung, dass man bei einer Kreuzung von zwei Gefässen, den Reflexstreifen des unterliegenden Gefässes vollständig unverändert bis zu den rothen Blutstreifen des oberflächlichen Gefässes verfolgen kann, lässt sich nur dann erklären, wenn die Gefässwände, wie Jaeger sagt, »mindestens nahezu die gleiche Durchsichtigkeit und denselben Brechungsexponenten besitzen wie die übrigen, den Gefässen vorgelagerten, dieselben umgebenden Netzhautelemente«. Dagegen beweist auch die Angabe von Ostwalt nichts, welcher bei einer Unterbindung des Opticus an einer Vene, in der die Blutsäule zerrissen war, den Reflexstreifen auch dort sehen konnte, wo die Vene zwischen zwei rothes Blut enthaltenden Abschnitten nur farblosen Inhalt hatte. Denn einmal ist die Vene zweifellos an dieser Stelle mit einer Flüssigkeit gefüllt gewesen, die einen anderen Brechungsindex haben muss als die Umgebung. Ferner lässt sich annehmen, dass bei einem die Ernährung der Retina so stark beeinträchtigenden Eingriffe wie die Unterbindung des Opticus, die Gefässwände sehr rasch Veränderungen eingehen können, die ihre Durchsichtigkeit oder auch nur ihren Brechungsexponenten beeinflussen. Dies würde aber genügen, um den Reflexstreifen an ihnen erscheinen zu lassen. Der von Jaeger im vollständig normalen Auge gemachte und durch seine Versuche mit den Glasröhren noch weiter erläuterte Befund, wird dadurch durchaus nicht in seiner Beweiskraft abgeschwächt. Die weisslichen Begleitstreifen neben den Gefässen (Schneller) rühren wohl von der Gefässwand her, sind aber nicht in allen Augen nachweisbar.

Entsteht nun auch der Reflex nicht an der Gefässwand, sondern an der nach vorn convexen Blutsäule in den Gefässen, so müssten auch darauf die Deductionen Schnellers ihre Anwendung finden können, wenn sie richtig wären. Denn die vordere Begrenzung der Blutsäule in den Gefässen würde einfach einen Convexspiegel von etwas kleinerer Brennweite darstellen als die vordere Begrenzung der Gefässwand. Schneller gibt aber an, dass die Reflexstreifen bei Gebrauch von Spiegeln von verschiedener Brennweite auch eine verschiedene Breite zeigen. Ich konnte dies ebenso wie Loring nicht bestätigen..

Es ergibt sich leicht, wo der Fehler in der von Schneller ausgeführten Rechnung liegt. Schneller hat das von dem Spiegel im Glaskörper ent-

worfene Bild der Lampenflamme als das leuchtende Object für den Convexspiegel, als welchen man das Gefäss betrachten kann, angenommen. Dies ist aber unrichtig. Wir haben im ersten Theile auseinandergesetzt, dass für kleine spiegelnde Flächen in der Netzhaut bei der Untersuchung im aufrechten Bild nicht das im Glaskörper liegende Flammenbild, sondern der von Licht durchsetzte Theil der Pupille (genauer ein gewisser Theil des Spiegels) der leuchtende Gegenstand ist. Es lehrt dies ein Blick auf die Figur 18.

Hält man dies fest, so wird man leicht verstehen, dass eine Aenderung der Brennweite des Spiegels, des Abstandes der Lampe vom Spiegel und der Breite der Lampenflamme auf die Breite der Reflexstreifen gar keinen Einfluss üben kann. Dass bei Gebrauch von sehr starken Concavspiegeln (8 *cm* Brennweite) die Reflexstreifen manchmal schmäler werden, erklärt sich daraus, dass bei der grossen Lichtmenge, welche solche Spiegel in das Auge werfen, die Pupille sich sehr stark contrahirt. Bei künstlicher Erweiterung der Pupille sind auch in der That die Reflexstreifen auf den Venen breiter.

Untersucht man mit einem Spiegel von sehr kurzer Brennweite (2·5 *cm*), so sind auch bei erweiterter Pupille die Reflexstreifen sehr matt und wenig ausgesprochen. Es liegt jetzt das verkehrte Flammenbild sehr weit vorn im Glaskörper. Ist der Abstand der Lampe von dem Spiegel 30 *cm*, dann liegt das Flammenbild, das der Spiegel entwirft, 27·2 *mm* vor demselben, folglich, wenn der Spiegel sich im vorderen Brennpunkte des Auges befindet, das von dem dioptrischen Apparate des Auges erzeugte Bild 11 *mm* vor der Retina. Das vom Spiegel gebildete Flammenbild hat die Grösse von 2·54 (der Durchmesser der Lampenflamme wieder zu 28 *mm* gerechnet), das Bild im Glaskörper 1·4 *mm*. Unter diesen Verhältnissen muss der beleuchtete Bezirk auf der Retina sehr gross sein. Wäre das Bild im Glaskörper ein punktförmiges, so könnte man nach dem Abstande des Bildes von der Retina sehr leicht den Durchmesser des Zerstreuungskreises auf der Netzhaut berechnen. Für eine Pupillenweite von 4 *mm* ist dann der Durchmesser des Zerstreuungskreises auf der Retina 5·3 *mm*. Da aber das Bild im Glaskörper eine Ausdehnung von 1·4 *mm* hat, so ist der Durchmesser des beleuchteten Netzhauttheiles noch grösser.

Es liegt also auf der Hand, dass, da die in's Auge dringende Lichtmenge über einen sehr grossen Bezirk des Fundus vertheilt wird, die Erleuchtung einzelner Punkte der Netzhaut eine sehr geringe ist, selbst wenn die Pupille künstlich erweitert ist. Untersucht man mit einem solchen Spiegel von 2·5 *cm* Brennweite, so kann man sich sehr leicht von der Richtigkeit dieser Thatsache überzeugen. Es kann nicht Wunder nehmen, dass bei dieser Art der Beleuchtung die Reflexstreifen auf den Netzhautgefässen nur sehr lichtschwach und wenig ausgeprägt sind.

Es ergibt sich aber eine Schwierigkeit für die Erklärung der Reflexstreifen durch eine Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule, die aus der folgenden Berechnung hervorgeht.

Will man die Breite des von der vorderen Fläche der Blutsäule erzeugten Reflexstreifens erfahren, so kann man die vordere Fläche der Blutsäule einfach als einen Convexspiegel betrachten, der von der Pupille ein Bild entwirft. Ich habe, um ein ungefähres Maass für den Durchmesser einzelner Netzhautgefässe zu haben, in einer Anzahl der Bilder des grossen Jäger'schen Atlas den Durchmesser der Arteria temporalis oder nasalis gemessen. Hieraus und aus dem Durchmesser der Papille in den Tafeln, kann man, wenn man den wirklichen Durchmesser der Papille zu 1·5 *mm* annimmt, leicht ermitteln, welches der Durchmesser dieser Gefässe im Auge sein müsste. Es fand sich im Mittel ein Durchmesser von 0·071 *mm*. Ich habe nun zu diesem Durchmesser des Gefässes die Grösse der Spiegelbilder berechnet.

Hat die Pupille eine Grösse von 3 *mm* und ist der Radius des Convexspiegels, den die Vorderfläche der Blutsäule im Gefässe darstellt, gleich 0·035 *mm*, so findet man den Ort des Bildes hinter der spiegelnden Fläche nach der Formel: $l_1 = -\frac{l f}{l + f}$. Den Abstand der Pupille (des leuchtenden Gegenstandes) von dem Gefässe nehmen wir mit 19 *mm* an. Bei einem Radius des Gefässes von 0·035 ist $f = 0·0175$. Es ist also $l_1 = 0·01748$

Der Einfachheit wegen wollen wir zunächst voraussetzen, dass das Augeninnere mit einem Helmholtz'schen Spiegel erleuchtet werde. Es ist dann in der That die ganze Pupille beleuchtet, dieselbe soll zunächst 3 *mm* Durchmesser haben. Wir finden die Grösse des von der vorderen Fläche des Gefässes als Convexspiegel entworfenen Bildes nach der Formel: $\beta = \frac{B f}{l + f}$, worin B der leuchtende Gegenstand ist. Indem wir für B 3 *mm* einsetzen und für l und f die früher angegebenen Grössen, ergibt sich $\beta = 0·0027$ *mm*. Dies ist die wirkliche Grösse des von der vorderen convexen Fläche des Gefässes gelieferten Bildes, welches ein virtuelles, innerhalb der Brennweite des Convexspiegels liegendes ist.

Um nun zu wissen, in welcher Ausdehnung uns die Oberfläche des Gefässes durch das von derselben regelmässig reflectirte Licht glänzend erscheint, müssen wir noch in Betracht ziehen, wie die von dem Spiegelbilde ausgehenden Strahlen zur Pupille verlaufen.

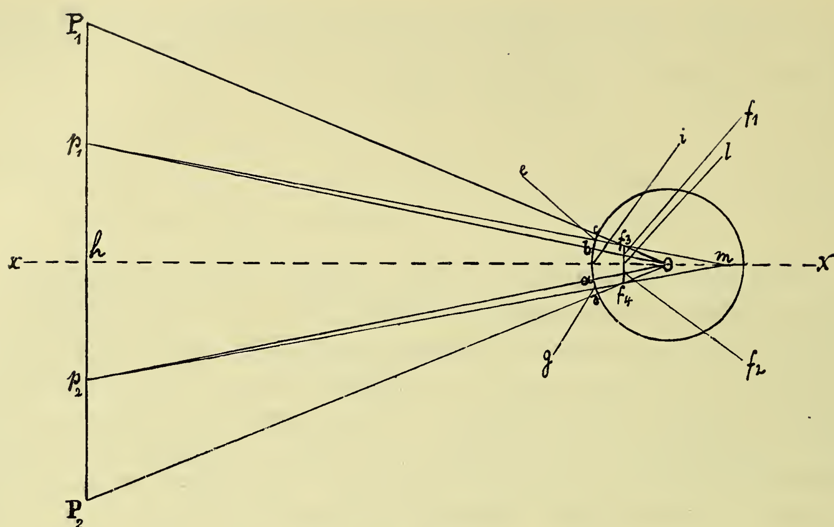


Fig. 21.

Zu diesem Behufe soll supponirt werden, dass die Pupille des untersuchenden Auges der Pupille des untersuchten Auges gerade gegenüber liegt, während der Beobachter sich, wie gesagt, eines Helmholtz'schen Spiegels bedient. In Fig 21 ist $p_1 p_2$ die Pupille von 3 *mm* Durchmesser, xx die optische Axe, o der Mittelpunkt eines cylindrischen Gefässes, $f_1 f_2$ das durch die vordere Fläche des Gefässes entworfene Spiegelbild der Pupille, dessen Endpunkte f_1, f_2 auf den zum Krümmungsmittelpunkte des Convexspiegels gehenden Richtungsstrahlen liegen müssen. Die äussersten von f_1 und f_2 ausgehenden, noch in die Pupille dringenden Lichtstrahlen sind nun auch jene Richtungsstrahlen $o p_1$ und $o p_2$, welche die Oberfläche des Gefässes in a und b schneiden. ab ist also der Theil der Gefässoberfläche, welcher uns als der Reflexstreifen erscheinen muss, wenn der Reflexstreifen wirklich durch regelmässige Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule hervorgerufen wird.

ab ist aber im Verhältnisse zum Durchmesser des Gefässes viel grösser als $f_1 f_2$. Es ist $ab : io = f_1 f_2 : lo$, $io = 0{\cdot}035$; $lo = io - il$; il wurde vorhin als l_1 berechnet; es ist also $lo = 0{\cdot}035 - 0{\cdot}0174 = 0{\cdot}0176$. Aus der angeführten Proportion ist $ab = 0{\cdot}0053$, womit wir die Breite des Reflexstreifens gefunden haben. Besitzt das Gefäss einen Durchmesser von 0·07 *mm*, so wäre die Breite des Reflexstreifens $\frac{1}{13{\cdot}2}$ des Gefässdurchmessers.

Untersucht man nicht mit dem Helmholtz'schen Apparate, sondern mit einem durchbohrten Spiegel, so sind die Verhältnisse die gleichen oder ganz ähnliche. Das Gefäss wird jetzt allerdings nicht mehr von der ganzen Pupille, sondern nur von einem gewissen Theile beleuchtet. Dieser Theil

ist immer randständig und hat eine Ring- oder Sichelform. Die vordere Fläche der Blutsäule in einem Gefässe ist aber ein Convexcylinderspiegel. Von diesem werden sehr verzerrte Bilder des betreffenden Theiles der Pupille entworfen. Ein solcher Convexcylinderspiegel ist ja in der Richtung der Axe des Cylinders ein Planspiegel, in der darauf senkrechten Richtung ein stark gekrümmter Convexspiegel.

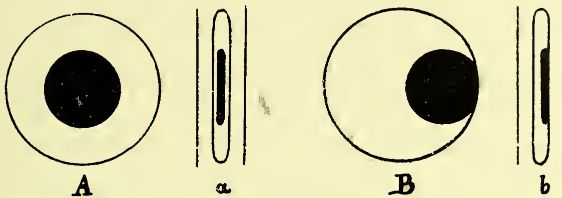


Fig. 22.

Hat man das Gefäss mit dem Helmholtz'schen Spiegel beleuchtet, so ist das Bild der Pupille, welche jetzt in ihrer Gänze das leuchtende Object für die spiegelnde Fläche ist, in der auf die Axe des Gefässes senkrechten Richtung sehr stark verkleinert. Ist bei einem durchbohrten Spiegel das leuchtende Object für das Gefäss ein ringförmiger Theil der Pupille (Fig. 22 A), so erfährt das Bild dieses Ringes ebenfalls eine Verkürzung in demselben Sinne. Es erscheint also das Spiegelbild des Ringes an dem Convexcylinderspiegel in der Richtung der Axe des Cylinders sehr stark in die Länge gezogen. (Fig. 22 a).

Wie verhält es sich nun bei einer auf 10 *mm* erweiterten Pupille? P_1P_2 wäre in Fig. 21 die erweiterte Pupille. Es entsteht das Spiegelbild dieser erweiterten Pupille natürlich wieder als virtuelles Bild hinter der spiegelnden Fläche an derselben Stelle wie früher bei enger Pupille. Das Bild ist aber grösser. Es wird durch die Richtungsstrahlen P_1o und P_2o gefunden, welche die Verlängerung von f_1f_2 in f_3 und f_4 schneiden. Würde auch alles aus der weiten Pupille austretende Licht in die Pupille des Beobachters eindringen können, so wäre cd der Theil der vorderen Fläche der Blutsäule, welcher durch regelmässig reflectirtes Licht glänzend erscheint.

Nehmen wir nun an, dass bei Anwendung des Helmholtz'schen Spiegels die Mitte der Pupille des Beobachters auf der verlängerten optischen Axe xx des untersuchten Auges liegt und dass die Pupille einen Durchmesser von 3 *mm* hat, oder behalten wir bei Gebrauch eines durchbohrten Spiegels den Durchmesser des Spiegelloches ebenfalls mit 3 *mm* bei, so gelangt aus dem untersuchten Auge in das untersuchende von den regelmässig reflectirten Strahlen ein Cylinder von 3 *mm* Durchmesser. In der Pupille des untersuchten Auges ist sein Durchmesser p_1p_2. Die Strahlen, die diesen Cylinder vor dem untersuchten Auge bilden, müssen von dem Bilde f_3f_4 kommen.

Sie bilden also im Auge einen Kegel, dessen Spitze in m liegt. (Wir können bei der geringen Breite des Reflexstreifens eben davon absehen, dass eigentlich von f_3 und f_4 Strahlenkegel ausgehen, die nach ihrem Austritte aus dem Auge zu zwei mit ihren Axen eben nur minimal divergirenden Cylindern werden).

Die Grösse von f_3f_4 berechnet sich für 10 *mm* Pupillendurchmesser mit 0·0092 *mm*. Es ist ferner $lm : f_3f_4 = (lm + hl) : p_1p_2$; hl kann leicht durch Addition von hi = 19 und il = 0·0174 gefunden werden. Es ist also $hl = 19{\cdot}0174$; $lm = \frac{hl.\ f_3f_4}{p_1p_2 - f_3f_4} = 0{\cdot}0584$; $im = lm + il = 0{\cdot}0758$; $eg : im = f_3f_4 : lm$; $eg = \frac{im.\ f_3f_4}{lm} = 0{\cdot}0119$. Dies ist also die Breite des Reflexstreifens, wie sie bei erweiterter Pupille erscheint. Sie ist etwas mehr als doppelt so gross wie früher.

Vergleicht man das Ergebnis der Rechnung mit dem Befunde im Auge, so stellt sich heraus, dass der Letztere sich nur in Bezug auf die Venen mit dem Ersteren in Einklang bringen lässt. Die Reflexstreifen auf den Venen haben wirklich fast genau die Breite, wie sie einer Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule in ihnen entspricht. Nicht das Gleiche kann man von den Arterien sagen. Hier sind die Reflexstreifen viel breiter. Sie nehmen $^1/_4$—$^1/_3$ des Gefässdurchmessers ein, sie sind an engeren Arterien deutlich und oft um vieles breiter als an engeren Venen. Nun weiss man aber, dass die Arterien einen nahezu cylindrischen Querschnitt haben, während die Venen und besonders die grösseren bedeutend abgeflacht sind, wie es die geringere Stärke ihrer Wandungen und der geringere Blutdruck in ihnen mit sich bringt. Es müssten folglich, wenn der Reflexstreifen immer durch regelmässige Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule zu Stande käme, die Reflexstreifen auf den Arterien schmäler sein als auf Venen des gleichen Calibers; ja es wäre zu erwarten, da der Querschnitt der Venen ein ovaler ist, dass der Reflexstreifen oft auf dickeren Arterien schmäler wäre als auf dünneren Venen. Gerade das Umgekehrte ist aber der Fall.

Dies alles zwingt zu der Annahme, dass der Reflexstreifen zum mindesten auf den Arterien nicht in der bisher allgemein angenommenen Art, nämlich durch Reflex an der vorderen Fläche der Blutsäule zu Stande kommen könne. Der beste Weg, um die Sache zu entscheiden, schien der schon von Jaeger betretene des Experiments.

Ich habe mich aber nicht damit begnügt, Glasröhren von grösserem Caliber mit gefärbten Flüssigkeiten gefüllt und von einem bestimmten Medium umgeben, mit dem Augenspiegel zu beleuchten, sondern ich suchte

Verhältnisse herzustellen, welche denen, wie sie im Auge vorhanden sind, möglichst ähnlich sein sollten. Zu diesem Zwecke liess ich ein künstliches Auge herstellen. Dasselbe bestand aus einer kurzen Metallröhre von etwa 2 *cm* Durchmesser, die an der einen Seite durch einen flachen Boden abgeschlossen war. In diese Röhre passte eine zweite, welche nach vorn eine Metallplatte trug mit einer centralen Oeffnung von 10 *mm* Durchmesser. Hinter dieser Oeffnung war eine planconvexe Linse mit der convexen Fläche von 7 *mm* Radius nach vorne gekehrt angebracht. Vor der convexen Linse konnte man Diaphragmen von 7 und 3 *mm* Durchmesser einschieben. Füllte man durch eine kleine Oeffnung in dem Mantel der ersten Röhre den Zwischenraum zwischen der Linse und dem Boden dieser Röhre mit einer Mischung von Cedernöl und Ricinusöl an, so stellte das Ganze ziemlich genau ein optisches System dar, welches aus einer brechenden Fläche von 7 *mm* Radius bestand. Nehmen wir den Brechungsindex des Glases und den des Oelgemisches mit 1·5 an, so wäre die hintere Brennweite des Systems 21 *mm*. Der Abstand der Linse von dem dem Augenhintergrunde entsprechenden Boden der ersten Röhre war natürlich durch Verschieben der zweiten in der ersten Röhre veränderlich. Als Augenhintergrund wurde rückwärts eine Papierscheibe eingelegt, welcher durch Bemalen ungefähr die Farbe eines mittelstark pigmentirten Fundus gegeben worden war. Im oberen Theile dieser Papierscheibe wurde eine Anzahl von parallelen, horizontalen, feinen schwarzen Strichen gezogen. Ein Ausschnitt in dem Mantel der Röhre erlaubte nahe vor dem den Augenhintergrund darstellenden Papiere, verschiedene Glasröhren einzuschieben. Dieselben massen im äusseren Durchmesser (unter dem Mikroskope gemessen) 0·322—0·39 *mm*, ihr lichter Durchmesser 0·23—0·299 *mm*. Doch wurden auch Röhren benutzt, deren Lumen nur 0·046 Durchmesser hatte. Diese Röhren wurden an ihren Enden auf schmalen Glasstreifen, die aus Deckgläsern geschnitten waren, mittels Leim aufgeklebt und dann in den kleinen Apparat unmittelbar vor das rothe Papier gebracht, so dass sie von diesem durch die Dicke des Deckgläschens getrennt waren. Dieses künstliche Auge wurde derart eingestellt, dass der Abstand der unmittelbar vor der vorderen Fläche der Convexlinse befindlichen Diaphragmen von dem rothen Papier etwa 19 *mm* betrug.*)

---

*) Nicht uninteressant war es, bei der ophthalmoskopischen Untersuchung dieses künstlichen Auges zu finden, dass die feinen Papierfaserchen, die von der Papierfläche vorragten und die bei der Betrachtung des Papiers mit blossem Auge gar nicht, auch bei Tageslicht mit der Loupe angesehen, nur sehr wenig sichtbar waren, jetzt als eine grosse Zahl von glitzernden weissen Punkten und Flecken hervortraten, die völlig das Ansehen hatten, wie es sich darbietet, wenn man Cholestearinkrystalle im Glaskörper oder in der Retina diagnosticirt. Es ist dies wohl ein Fingerzeig, dass vielleicht mancherlei Bildungen, nicht bloss Krystalle, solche glänzende Reflexe darbieten können.

In den im Folgenden beschriebenen Versuchen bestand der Inhalt der Röhrchen zumeist aus Flüssigkeiten, deren Brechungsindex geringer war als der des Glases und der die Glasröhre umgebenden Oelmischung. Dies entspricht den Verhältnissen im Auge. Der Brechungsindex des Glaskörpers beträgt 1·3365. Der Brechungsindex der Retina ist nicht bekannt, jedenfalls aber höher als der des Glaskörpers. Dieser Unterschied muss sogar nach den starken Reflexen, die, wie wir später sehen werden, an der Retina entstehen, ein bedeutender sein. Herr Dr. Sigmund Fuchs, Assistent am physiolog. Institut, war so freundlich, den Brechungsexponenten des Blutes mittels des Abbé'schen Refractometers zu bestimmen. Es fanden sich bei drei Messungen, für die jedesmal das Blut von einer anderen Person genommen wurde, folgende Werthe: 1·3521, 1·3525 und 1·3520. (Dieselben gelten für das Licht der Natronflamme). Es ist also wohl wahrscheinlich der Brechungsexponent des Blutes geringer als der der Retina.

Beim ersten Versuche waren auf einem Deckgläschen 4 Röhrchen von 0·24 lichtem Durchmesser befestigt, von denen das erste mit derselben Mischung von Cedern- und Ricinusöl gefüllt war, welches auch den Raum vor dem Röhrchen einnahm. Das zweite Röhrchen wurde oben und unten zugeschmolzen, enthielt also Luft; das dritte wurde mit Tinte angefüllt, das letzte mit Wasser. Als nun diese Objecte, bei 10 *mm* weiter Pupille mit einem durchbohrten Concavspiegel von 18 *cm* Brennweite, betrachtet wurden, ergab sich folgendes:

Das erste Röhrchen, das mit der Mischung der ätherischen Oele, war kaum sichtbar. Nur wenn man genau hinblickte, nahm man die Begrenzung der Röhrchenwand als sehr zarte grauliche Striche auf dem rothen Hintergrunde wahr. Dabei konnte man auch sehen, dass hinter der Röhre eine sehr leichte Verschiebung an den schwarzen Strichen auftrat. Von einem Reflex auf der vorderen Fläche der Glasröhre oder des Inhalts derselben war absolut nichts bemerkbar.

Von der 2. Röhre (Luft) sah man ebenfalls die Wandungen aussen durch jene zarten Striche gekennzeichnet. Die Begrenzung des Lumens erkannte man an zwei sehr dunklen schmalen Strichen, die nach aussen hin scharf, gegen die Mitte hin nur undeutlich begrenzt waren. Zwischen diesen beiden Strichen sah man den rothen Hintergrund als ein rothes Band. In der Mitte desselben stellte sich ein sehr lichtstarker, silberglänzender Reflexstreifen dar. An diesem fiel alsbald auf, dass er aus zwei parallelen glänzenden Streifen bestand, welche durch eine sehr zarte dunkle Linie getrennt waren. Der ganze Reflexstreifen nahm ungefähr $^1/_{12}$—$^1/_{10}$ von dem Durchmesser des Röhrenlumens ein. Ganz gleiche Erscheinungen bot das 4. Glasröhrchen dar, jenes mit Wasser. Nur war der Reflexstreifen bedeutend lichtschwächer.

Neben der Tintensäule waren ebenfalls die Wandungen der Glasröhre durch die zarten grauen Striche am Rande und durch die Ablenkung der Lichtstrahlen, welche durch sie hindurchgiengen, kenntlich. Der schwarze Streifen, als welcher die Tintensäule selbst erschien, zeigte ebenfalls deutlich und ziemlich lichtstark (wenn auch nicht so hell, wie an der 2. Röhre) einen weiss glänzenden Reflexstreifen von gleicher Breite in seiner Mitte. Leuchtet man völlig gerade auf jedes einzelne der Röhrchen, so kann man bei Allen, mit Ausnahme des mit Cedernöl gefüllten, unmittelbar neben den Linien, welche das Lumen der Röhrchen begrenzen, noch zwei äusserst feine rothe Linien sehen.

Beleuchtete man mit dem Helmholtz'schen Spiegel, so fehlte die Trennung des Reflexstreifens in zwei Linien. Verwendete man den Concav spiegel von 18 *cm* Brennweite, legte aber das Diaphragma von 7 *mm* Durchmesser ein, so ergab sich keine wesentliche Aenderung in den Reflexerscheinungen, wohl aber, sobald man das Diaphragma von 3 *mm* einschob. Dann erschienen sämmtliche Reflexstreifen lichtschwächer, schmäler und meist einfach. Nur schwer gelingt es, dieselben doppelt zu sehen. Dann sind sie von sehr geringer Helligkeit.

Durch eine Drehung des Concavspiegels von 18 *cm* Brennweite um seine Axe bei ruhiger Kopfhaltung des Beobachters zeigte sich keine deutliche Lageveränderung der Reflexstreifen. Werden die Röhrchen mit dem Spiegel von 8 *cm* Focaldistanz beleuchtet, so kann man wahrnehmen, dass bei einer Drehung des Spiegels eine Verschiebung des Streifens auf dem Röhrchen eintritt u. zw. in der Richtung der Spiegeldrehung. Diese Bewegung des Streifens tritt nur dann hervor, wenn man das Flammenbild auf dem Hintergrunde durch Drehung des Spiegels so verschiebt, dass das Röhrchen bald nahe dem einen, bald nahe dem anderen Rande des Flammenbildes zu liegen kommt. Der Reflexstreifen wird dann auch einfach u. zw. verschwindet immer derjenige von den zwei Streifen, welcher der Richtung der Bewegung des Flammenbildes entgegengesetzt liegt.

Nimmt man wieder den schwächeren Concavspiegel zur Hand, so wird man gewahr, dass man nur dann bei 10 *mm* weiter Pupille den Reflexstreifen auf der Tinte verdoppelt sieht, wenn man so hineinblickt, dass die Mitte des Spiegelloches gerade gegenüber der Mitte der Pupille liegt. Verschiebt man Kopf und Spiegel etwas nach oben oder nach unten, so wird der Streifen sogleich einfach, indem sich die zarte dunkle Trennungslinie in der Mitte verliert. Bewegt man ferner den Kopf und den Spiegel aus jener mittleren Stellung zur Seite, so wird der doppelte Reflexstreifen auf der Tinte ebenfalls einfach u. zw. verschwindet immer jener von den zwei Streifen, welcher an der Seite liegt, nach welcher man den Kopf bewegt hat. Die Reflexstreifen auf der Luft- und Wassersäule bleiben dabei doppelt.

Mit dem Helmholtz'schen Spiegel bleibt der Reflexstreifen auf der Tinte immer einfach, jener auf Luft und Wasser wird aber doppelt, wenn man den Kopf zur Seite verschiebt. Eine Verschiebung des Reflexstreifens auf der reflectirenden Flüssigkeitssäule ist bei den Bewegungen des Kopfes nicht deutlich wahrnehmbar. Bei stärkeren Verschiebungen des Kopfes tritt freilich eine deutliche Verzerrung der Bilder durch sphaerische Aberration auf.

Suchen wir uns zunächst die soeben geschilderten Erscheinungen zu erklären. Die Reflexstreifen können nicht an der vorderen Wand der Glasröhre entstehen. Das beweist das Fehlen des Reflexstreifens auf dem mit Cedern- und Ricinusöl gefüllten Röhrchen. Trotzdem, dass ein deutlicher Unterschied im Brechungsindex des Glases und der das Röhrchen umgebenden und in ihm enthaltenen Flüssigkeit in diesem Falle bestand (Beweis dessen die Erkennbarkeit der Grenzen der Röhre und die Strahlenablenkung durch die Glasröhre), so trat doch kein Reflexstreifen auf der Glasröhre auf. Es ist dies ein weiterer Grund, um das Entstehen der Reflexstreifen auf der Gefässwand zurückzuweisen. Der Reflexstreifen müsste selbst dann noch nicht auf der Gefässwand entstehen, wenn ein geringer Unterschied zwischen dem Brechungsindex der Gefässwand und der umgebenden Retina bestünde, welcher es möglich macht, dass man die Gefässwände als feine dunkle Linien wahrnimmt. In Wirklichkeit ist auch dieses Letztere nicht der Fall, somit umso weniger Anlass das Zustandekommen des Reflexstreifens auf der Wand der Gefässe anzunehmen.

Die beiden sehr zarten rothen Linien neben dem Lumen der Röhrchen erkläre ich mir durch totale Reflexion an der hinteren Fläche des im Querschnitte etwa prismatischen, von Cedernöl erfüllten Raumes, welcher rechts und links hinter dem Röhrchen entstehen musste, dort, wo dasselbe nicht mehr dem Deckgläschen anlag. Dieser rothe Streifen war immer an der Seite sichtbar, von welcher man das Licht hinein warf. Man hatte an ihm also ein sichtbares Erkennungszeichen, ob das Röhrchen direct von vorne oder etwas seitlich beleuchtet war.

Die dunklen Streifen, welche uns als Begrenzung des Lumens der Röhren, die mit Luft oder Wasser gefüllt sind, erscheinen, werden durch totale Reflexion des vom rothen Hintergrunde zurückgeworfenen Lichtes an dem Rande der Luft- oder Wassersäule hervorgerufen. Sie sind also aus derselben Ursache dunkel, aus welcher der Rand einer durchsichtigen Krystalllinse im Auge dunkel ist.

Wie erklärt sich nun die Verdoppelung des Reflexstreifens? So lange man ihn nur an der von Luft (oder an der von Wasser) erfüllten Röhre doppelt gesehen hat, würde man sich denken können, dass der eine dieser Streifen von der vorderen Wand der Luftsäule, der andere von der hinteren concaven Begrenzung derselben geliefert wird. Dagegen

spricht aber, dass man den doppelten Streifen auch dann sieht, wenn man ganz gerade von vorne auf das Röhrchen blickt. Ganz unhaltbar wird diese Erklärung aber, wenn man sieht, dass der Streifen auch auf der Tinte doppelt erscheint.

Sieht man vollständig in der Richtung der optischen Axe in das Auge hinein, dann würde für eine an dem hinteren Ende der optischen Axe liegende, sehr kleine spiegelnde Fläche ein ringförmiger Theil der Pupille das leuchtende Object abgeben. (Fig. 22 A.) Das Bild dieses Ringes auf der vorderen convexen Fläche der cylindrischen Flüssigkeitssäule ist aber in seiner Mitte ein Doppelstreifen, die beiden Streifen getrennt durch einen dunklen Zwischenraum — das verzerrte Bild des dunklen Theils der Pupille oder genauer des Spiegelloches (Fig. 22 a.)

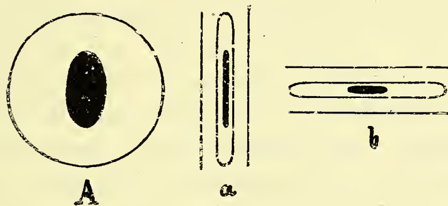


Fig. 23.

Betrachtet man ein horizontal stehendes Röhrchen, das mit Tinte gefüllt ist, so sieht man meist nur einen Streifen, nur auf eine kurze Strecke erscheint er doppelt. Diese Erscheinung ist leicht zu erklären, wenn man daran denkt, dass der leuchtende Ring in der Pupille eigentlich an beiden Seiten breiter ist als oben und unten. (S. Seite 54). Wenn also Fig. 23 A das leuchtende Object wäre, so ist das Spiegelbild davon auf einem vertical stehenden Convexcylinderspiegel (Fig. 23 a) in viel grösserer Ausdehnung verdoppelt als auf einem mit seiner Axe horizontal liegenden Convexcylinderspiegel (Fig. 23 b).

Man versteht auch leicht, dass die Verdoppelung des Streifens verschwinden muss, wenn man den Helmholtz'schen Spiegel anwendet, denn hier ist das Spiegelbild nur eine zum Streifen ausgezogene Scheibe.

Ferner ist es klar, warum die Verschiebung des Kopfes sammt dem Spiegel denselben Effect hat. Es ist dann bloss ein sichelförmiger Theil der Pupille das leuchtende Object und der Reflexstreifen eine verzerrte Sichel (Fig. 22 B und b). Bewegt man sich mit dem Kopfe gegen seine eigene linke Seite, so wird in der Pupille die Sichel die Spitzen ebenfalls nach links kehren. Auf der Flüssigkeitssäule muss der vom Beobachter nach links gelegene Streifen verschwinden, während der andere etwas breiter wird. Bewegt man den Kopf nach auf- oder abwärts, so ist der leuchtende Theil der Pupille für das beleuchtete Röhrchen eine Sichel mit

den Spitzen nach oben oder nach unten gerichtet. Die sichelförmigen Bilder auf der Flüssigkeitssäule können aber immer nur einen Streifen geben.

In den Fällen, wo von einem sichelförmigen Theile der Pupille die Strahlen nach dem Röhrchen hin verlaufen, kann es natürlich keinen Unterschied machen, ob man das Röhrchen vertical oder horizontal stellt. Dies bestätigt auch der Versuch.

Nimmt man Röhrchen mit einem kleineren Lumen, so verschwindet die Verdoppelung des Streifens überhaupt. Der ganze Reflexstreifen ist eben dann zu schmal, um in ihm noch dieses Detail erkennen zu können.

Nun fragt es sich noch, warum man auch mit dem Helmholtz'schen Spiegel, wohl nicht auf der Tinte, aber auf der Luft- und Wassersäule zwei Streifen sieht, welche allerdings nur sichtbar waren, sobald man schräg auf das Röhrchen blickte. Hier erklärt sich der zweite Streifen wohl in der That durch einen Reflex an der hinteren Begrenzungsfläche der Luft- oder Wassersäule. Deshalb ist er nur bei schiefem Einblick wahrnehmbar. Das von der vorderen Fläche der Blutsäule entworfene virtuelle Bild liegt etwas vor dem Brennpunkte dieser convexen Spiegelfläche, somit etwas vor der Mitte des nach vorn gerichteten Radius des Kreises, welcher den Querschnitt der Luft- oder Wassersäule begrenzt. Das reelle Bild von der hinteren Fläche der Luft- oder Wassersäule liegt etwas vor der Mitte jenes Radius, der nach hinten gerichtet ist. Die beiden Bilder sind also um den halben Radius von einander entfernt und können sehr wohl bei etwas schiefem Einblicke gesondert gesehen werden, während sie sich beim Anblicke ganz von vorn decken müssen. Wir wissen jetzt auch, warum die Verdoppelung des Streifens auf der Wasser- oder Luftsäule nicht aufhört, wenn man so schief hineinblickt, dass auf der Tinte nur mehr ein Streifen zu sehen ist. Statt des doppelten Streifens von der vorderen Fläche, sieht man dann eben einen Streifen von der vorderen und einen Streifen von der hinteren Fläche.

Um für diese Erklärung der Erscheinungen noch eine Bestätigung zu erbringen, habe ich auf dem Concavspiegel mit Tusche einen etwa 5 *mm* breiten Streifen quer über das Spiegelloch hinüber schwarz gefärbt. Steht dieser Streifen vertical und betrachtet man ein horizontales Röhrchen, welches Tinte enthält, dann kann man überhaupt nur einen einfachen Reflexstreifen sehen, es fällt jetzt das Licht durch den äusseren und inneren Theil der Pupille hinein. Die Verhältnisse sind dabei ähnlich wie jene in Fig. 23 b. nur dass in der Mitte des Spiegelbildes eine wirkliche Unterbrechung existirt. Dieselbe wird aber nur bei einer ganz bestimmten Spiegelhaltung sichtbar. Auf einem verticalen Röhrchen tritt unter diesen Umständen sehr schön ein doppelter Reflexstreifen auf. (Dies kann wieder versinnlicht werden, wenn wir uns in Fig. 23 a das verticale Oval durch das ganze Spiegelbild verlängert denken). Liegt das schwarze Band auf dem

Spiegel horizontal, dann sieht man auf einem horizontalen Röhrchen sehr bestimmt zwei Streifen, auf einem verticalen nur einen.

Ganz dieselben Erscheinungen, wie sie hier von der Tintensäule beschrieben wurden, treten auch auf, wenn man ein Röhrchen mit Milch füllt. Man sieht dann ein mattweisses Band mit einem glänzenden Reflexstreifen in der Mitte.

Ich habe nun bei einem weiteren Versuche 4 Röhrchen nebeneinander angebracht, von denen die erste eine Mischung von Carminlösung und Berlinerblau enthielt, die zweite eine concentrirte Carminlösung, die dritte eine verdünnte Carminlösung und die vierte endlich Blut, wie es durch einen Nadelstich in den Finger gewonnen worden war. Das Lumen der Röhrchen war dasselbe wie bei dem früheren Versuche. Es zeigte sich dass durch die mit den Farbstofflösungen gefüllten Röhren die darunter liegenden schwarzen Striche sichtbar waren, die Blutsäule dagegen war undurchsichtig.

Auf allen 4 Röhren waren ganz die gleichen Reflexstreifen in derselben Breite, mit der Verdoppelung unter den nämlichen Verhältnissen wie auf der Tinte enthaltenden Röhre zu sehen. Um mich zu überzeugen, ob das arterielle und venöse Blut einen wesentlichen Unterschied zeigt, etwa dadurch, dass das Erstere, weil heller, vielleicht theilweise zu durchleuchten wäre, entnahm ich von einem Kaninchen Blut aus der Carotis und aus der Vena jugularis und brachte zwei mit diesen beiden Blutarten gefüllte Röhrchen nebeneinander in das künstliche Auge. Der einzige Unterschied, den man beobachten konnte, war die hellere Farbe der ganzen Flüssigkeitssäule beim arteriellen Blute, die dunklere beim venösen. Im übrigen waren die Reflexstreifen auf beiden vollkommen gleich breit. Auf der dunkelsten Flüssigkeit (Mischung von Berlinerblau und Carmin) war der Streifen etwas lichtstärker als auf den Anderen. Eine Suspension von Carminpulver in Wasser verhielt sich in Bezug auf Undurchsichtigkeit und auch auf den Reflexstreifen ganz so wie Blut. Ausdrücklich hervorzuheben ist, dass die Reflexstreifen auf allen diesen Flüssigkeitssäulen weiss glänzend waren, man konnte keine Beimischung von der Farbe der betreffenden Flüssigkeit an ihnen wahrnehmen.

Aus dem Verhalten der Reflexstreifen im Auge bei ruhig gehaltenem Spiegel ergibt sich, dass die Breite der Reflexstreifen auf den Venen ganz der Breite entspricht, wie sie durch einen Reflex an der vorderen Fläche der Blutsäule entstehen musste. Die Reflexstreifen auf den Venen sind freilich etwas breiter als die Rechnung für ein vollkommen cylindrisches Gefäss sie ermitteln lässt. Dies erklärt sich daraus, dass eben das Lumen der Venen ein deutlich ovales ist.

Die Arterien sind nun enger und im Querschnitte cylindrischer als die Venen. Der Reflexstreifen auf ihnen müsste also schmäler sein wie auf den Venen von gleichem Caliber, und doch ist dies, wie wir gesehen haben, nicht der Fall.

Ostwalt erklärt die geringere Breite der Reflexstreifen auf den Venen folgendermassen: Als den reflectirenden Theil der vorderen Fläche des Gefässes bezeichnet er in einer Figur ganz richtig den Theil des Gefässes, welcher in unserer Figur 21 mit ab bezeichnet ist. Nun heisst es aber: »Denken wir uns in unserer Figur das Gefäss comprimirt, indem aber o an seiner Stelle bleibt, so ist es klar, dass der reflectirende Theil des Gefässes, der Bogen ab, der nun an o heranrückt oder vielmehr, der demselben entsprechende zwischen p_1o und p_2o liegende Bogen des Gefässdurchschnittes kleiner wird, während der Gefässdurchschnitt selbst an Breite zugenommen hat. Je platter das Gefäss wird, um so schmäler muss der Streifen schon an sich, noch mehr aber im Vergleiche zur Breite des Gefässes werden«.*)

Es liegt auf der Hand, dass diese Argumentation unrichtig ist. In o fällt ja nur dann der Mittelpunkt des Gefässquerschnittes und der Krümmungsmittelpunkt der vorderen Fläche der Blutsäule (oder auch der vorderen Fläche der Gefässwand) zusammen, wenn der Querschnitt des Gefässes ein Kreis ist. Wenn auch bei einem platteren Gefässe die Entfernung der vorderen Fläche desselben von der Pupille eine etwas grössere ist, so kommt doch dieser äusserst geringe Unterschied absolut nicht in Betracht, wohl aber der Unterschied in dem Krümmungsradius der vorderen Fläche. Haben wir zwei Gefässe vor uns, die bei der Augenspiegeluntersuchung anscheinend genau denselben Durchmesser haben und ist das eine von vorn nach rückwärts abgeplattet, so muss unstreitig ein Reflexstreifen, der durch die vordere Fläche des Gefässes oder der Blutsäule in den Gefässen gebildet wird, auf dem platteren Gefässe breiter sein, denn dieses stellt einen Spiegel von grösserer Brennweite dar. Ganz das Gegentheil können wir aber an den Arterien und Venen beobachten.

Wodurch wird aber der Reflexstreifen an den Arterien hervorgerufen, wenn nicht durch Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule?

Es ist eine bekannte Thatsache, dass man im Froschauge im Stande ist, mit dem Augenspiegel die Circulation in den Gefässen des Glaskörpers zu verfolgen. Man sieht die Circulation in den Capillaren, wo man sogar die einzelnen Blutkörperchen als glänzende Punkte oder vielmehr kleine glänzende Flecken beobachten kann. In den grösseren Gefässen, Arterien und Venen, erkennt man einen hellen glänzenden Streifen in der Mitte,

*) Anmerkung. In dem vorstehenden Citate sind statt der im Originale vorfindlichen Buchstaben andere Bezeichnungen eingesetzt, die der Fig. 21 entsprechen.

welcher bei den Venen (und diese sind am leichtesten zu beobachten, da sie in der Mitte des Augenhintergrundes liegen, während die grösseren Arterien sehr peripher sich vorfinden) ungefähr $^1/_3$, ja noch mehr von dem ganzen Durchmesser der Blutsäule einnimmt. Zu beiden Seiten davon laufen blassrothe Streifen. In dem hell glänzenden Streifen erkennt man sehr leicht eine rasch strömende Bewegung, die so deutlich ist, dass man schon daran Arterien und Venen unterscheiden kann.

Hirschberg (42) sagt hierüber: »Die Venen wie die Arterien erscheinen als rothe Bänder durch ihre Blutfüllung, die Axe des Bandes aber selber glänzend durch den Axenstrom, der, verglichen mit der Breite des Gefässes, in den Venen schmal, in den Arterien breiter erscheint. Man hat eine relativ mächtige, ruhende oder doch wenig bewegte Randschichte in den Venen anzunehmen, die in den Capillaren ganz fehlt«.

Auch ein anderes, sehr eigenthümliches und auf den ersten Blick sehr frappirendes Bild erwähnt schon Hirschberg (a. a. O.). Vereinigen sich nämlich zwei grössere Venen mit einander, so kann man an dem aus ihnen entstandenen weiteren Gefässstücke auf eine gewisse Strecke hin deutlich zwei helle, durch einen centralen rothen Streifen getrennte Streifen sehen. Es macht den Eindruck, als ob die beiden Gefässe wie die beiden Läufe eines doppelläufigen Gewehres daselbst einander berühren würden. Hirschberg bezieht auch dies auf den Axenstrom: »Es verlaufen eben die beiden glitzernden Axenströme noch eine merkliche Strecke ungemischt neben einander, wie man es bei der Vereinigung zweier Flüsse wahrnimmt, ja wenn ein dritter Ast dazu kommt, kann man drei Axenströme innerhalb der rothen Blutsäule der Vene erkennen.«

Ostwalt frägt in seiner mehrfach citirten Arbeit, ob man denn wirklich berechtigt sei, den centralen hellen Streifen auf den Gefässen des Froschaugengrundes als den Ausdruck des Axenstromes anzusehen. Dagegen scheint ihm die für einen Axenstrom zu geringe Breite des Streifens zu sprechen. Um die Frage zu entscheiden, unternahm er ein Experiment. Er band einem Frosche das ganze Herz an der Wurzel der grossen Gefässe ab. Der helle Streifen war nun an den grösseren Gefässen nur undeutlich zu sehen, dagegen an den etwas kleineren Gefässen ebenso deutlich wie vorher. »Allerdings ist der Streifen nicht mehr so regelmässig wie früher, sondern ist mehr aufzulösen in abwechselnd hellere und dunklere Punkte, entsprechend den Reflexen von den einzelnen Blutkörperchen. Jedenfalls kann jetzt von einer regelmässigen Anordnung der Blutsäule nicht mehr die Rede sein. Diese Anordnung kann also auch beim Frosche nichts mit dem Zustandekommen des hellen Streifens zu thun haben.«

Dennoch sagt Ostwalt gleich darauf, dass sich der glänzende Streifen bei normaler Circulation aus den Reflexen zusammensetzt, den die einzelnen Blutkörperchen liefern und führt den Umstand, dass der Streifen nicht unter-

brochen aussieht, auf denselben Grund zurück, aus dem eine schnell im Kreise bewegte glühende Kugel als feuriger Ring erscheint. Während bei normaler Circulation die Blutsäule eine annähernd genau cylindrische Gestalt hat, solle nach Abbindung des Herzens diese Anordnung gestört werden und man könne dann auch von mehr seitlich liegenden Blutkörperchen Reflexe bekommen. Der Streifen erscheint dann nicht mehr so gleichmässig breit. Obwohl eigentlich mit diesen Bemerkungen die Auffassung des glänzenden Streifens als Axenstrom direct gestützt wird, kommt Ostwalt doch zu dem Schlusse, dass im Froschauge der glänzende Streifen ebenso wie beim Menschen und anderen Thieren ein Reflexphänomen ist, »basirend auf der Gestalt der Blutkörperchensäule.«

Die Verdoppelung des glänzenden Streifens beim Zusammenflusse zweier Venen scheint Ostwalt nicht gegen diese Auffassung zu sprechen. Er meint, es sei natürlich, dass das durch die Vereinigung zweier cylindrischer Gefässe entstehende grössere Gefäss nicht sofort einen kreisförmigen, sondern zuerst einen etwa lemniscatenförmigen Querschnitt haben werde, der erst allmälig in einen kreisförmigen übergeht. Das Fehlen dieser Erscheinung im menschlichen Auge soll nur durch die schwächere Vergrösserung bewirkt werden.

Wie breit müsste nun der Reflexstreifen erscheinen, wenn er durch Reflexion an der cylindrischen Blutsäule bewirkt würde? Bei den von mir verwendeten Fröschen war die Entfernung der Pupillarebene von der Retina (am Durchschnitte eines gefrorenen Bulbus gemessen) 4 *mm*. Die Pupille, die durch Atropin etwas erweitert war, mass in dem längeren Durchmesser fast 4·75 *mm*, in dem kürzeren 4 *mm*. Die Glaskörpervenen hatten, frisch unter das Mikroskop gebracht, einen Durchmesser von 0·11 bis 0·15 *mm*. Nehmen wir einen Durchmesser von 0·12 an, so würde bei einer Pupillenweite von 4 *mm* und einem Abstande der Pupille von den Gefässen = 4 *mm*, sich die Grösse des Spiegelbildes der Pupille mit 0·029 *mm* und die Entfernung des Bildes von der spiegelnden vorderen Fläche der Blutsäule ebenfalls auf 0·029 *mm* berechnen. Es sei der Durchmesser des Strahlenkegels, welcher aus der Pupille herauskommt und in das Spiegelloch dringt 3 *mm*, so ist e g (Fig. 21) — d h. der Theil des Gefässes, von dem wir regelmässig reflectirte Strahlen in unser Auge bekommen können — 0·05 *mm*. Der Reflexstreifen würde also $\frac{1}{2 \cdot 4}$ des Gefässdurchmessers einnehmen.

Berücksichtigen wir noch, dass die Gefässe des Froschaugenhintergrundes uns unter stark hypermetropischer Einstellung erscheinen (nach Hirschberg 4—5 D, bei den von mir untersuchten Fröschen ebenso viel), so würde die Breite des Reflexstreifens um etwas geringer erscheinen.

Der Strahlenkegel nämlich, der von dem Gefäss regelmässig reflectirt aus dem Auge herauskommt und in's Spiegelloch gelangt, ist nach seiner Brechung durch die Medien des Auges, also vor dem untersuchten Auge, kein Strahlencylinder wie bei Emmetropie, sondern wieder ein Strahlenkegel, dessen Spitze hinter der Pupille des untersuchten Auges liegt. Sollen also aus einem hypermetropischen Auge Strahlen in ein Spiegelloch von 3 *mm* Durchmesser dringen, so ist der Querschnitt des Strahlenkegels in der Pupille nicht 3 *mm*, sondern geringer. Dann wird aber auch die Breite des Theiles der spiegelnden Fläche, von der noch Strahlen in's Loch des Augenspiegels kommen, kleiner sein, was so viel heisst, als dass der Reflexstreifen schmäler aussieht. Freilich ist dieser Unterschied nur minimal.

Nach dieser Rechnung würde also die Breite des sichtbaren Reflexstreifens, wenn wir ihn durch Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule entstehen lassen, annähernd mit der Breite des Reflexstreifens, wie er wirklich gesehen wird, stimmen. Dennoch müssen wir, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird, eine andere Erklärung für den hellen Streifen in der Mitte der Gefässe des Froschaugenhintergrundes annehmen.

Ich habe den Kreislauf in den Gefässen des Augenhintergrundes beim Frosche entweder dadurch verlangsamt, dass ich den Rumpf des Frosches, während ich mit dem Augenspiegel untersuchte, fest comprimirte und so durch Reizung des Splanchnicus eine Verlangsamung der Herzthätigkeit bewirkte. Oder es wurde um den Hals des Frosches eine Fadenschlinge gelegt und mässig angezogen. In beiden Fällen, besonders aber in Letzterem, sieht man sehr bald die Strömung in den grösseren Gefässen langsamer werden. Man erkennt nun in dem hellen glänzenden Streifen der Gefässe viel deutlicher die Bewegung der Blutkörperchen. Erreicht die Hemmung der Circulation einen noch höheren Grad, so zerfällt der helle Streifen vollständig in zahlreiche glänzende Wolken oder kleine Punkte und Flecke. Dieselben finden sich aber nicht nur dort vor, wo man früher den glänzenden Streifen gesehen hatte, nämlich in dem mittleren Bereiche des Gefässquerschnittes, sondern auch innerhalb jener Theile, die früher als rothe Streifen zu beiden Seiten des glänzenden Streifen, sich darstellten. Allerdings liegen in den meisten Gefässen immer noch mehr von diesen glänzenden Flecken in dem axialen Theile des Gefässes, doch kann man nicht mehr von einem continuirlichen Streifen reden. Die glänzenden Flecke sind nur dort, wo früher der glänzende Streifen war, etwas dichter gelagert. Die kleineren, fast punktförmigen Flecke erkennt man ohne weiteres als dieselben, welche man auch als Ausdruck der einzelnen Blutkörperchen in den Capillaren sich bewegen sieht.

Betrachtet man die Vereinigungsstelle von zwei Venen, an welchen man bei normaler Circulation zwei helle Streifen beobachtet hat, so ist jetzt von dieser Verdoppelung nichts mehr vorhanden. In vollständig wirrer

Weise bewegen sich hier dieselben glänzenden Wolken und Flecke. Dabei sind die Gefässe immer noch vollständig deutlich begrenzt und gut sichtbar. Zieht man die Schlinge um den Hals des Frosches vollständig zusammen, so geräth nach einiger Zeit der Blutlauf ganz in's Stocken. Die glänzenden Flecke kommen zur Ruhe und bleiben ganz unregelmässig verstreut innerhalb der Gefässe liegen.

Nach diesem Versuche, der stets das gleiche Resultat ergibt, kann es wohl kein Zweifel sein, dass der helle glänzende Streifen in der Mitte der grösseren Gefässe im Froschauge thatsächlich der Ausdruck des Axenstromes in denselben ist, wie es auch Hirschberg angibt. Sowohl der Zerfall des glänzenden Streifens in den einzelnen Gefässen, als besonders die Erscheinungen an der Vereinigungsstelle zweier Venen, beweist dies unwiderleglich, abgesehen davon, dass der lemniscatenförmige Querschnitt, den ein aus zwei Gefässen entstandenes Gefäss nahe der Vereinigungsstelle haben soll, anatomisch nicht nachgewiesen ist und auch in keinem anatomischen Befunde an anderen Gefässen ein Analogon findet.

Der Grund, warum man im Froschauge die einzelnen Blutkörperchen als helle Punkte und kleine Flecke sehen kann, liegt, wie Hirschberg (a. a. O.) ausführt, in der starken Vergrösserung, unter welcher man den Augenhintergrund des Frosches sieht (Hirschberg berechnet sie bei grösseren Fröschen auf 70malig) und in der bedeutenden Grösse der Blutkörperchen des Frosches. Während die Blutkörperchen des Menschen einen Durchmesser von 7·7 μ haben, misst ein Blutkörperchen des Frosches im längeren Durchmesser 22 μ. Es ist natürlich, dass wir in den Capillaren nur diejenigen Blutkörperchen als glänzende kleine Flecke sehen, welche uns ihre breite Seite zukehren. Auch in den grösseren Gefässen werden wir dort, wo sich die Blutkörperchen in rascher Bewegung befinden und uns bald die breite, bald die schmale Seite zuwenden, nur in ersterem Falle einen glänzenden Reflex von ihrer vorderen Fläche bekommen. In den mittleren Partien des Gefässquerschnittes ist die Bewegung am raschesten, die dabei aufleuchtenden Reflexe von den Blutkörperchen werden uns aber nicht einzeln zur Wahrnehmung kommen, sondern infolge der neben- und übereinanderliegenden und sich rasch fortbewegenden Blutkörperchen als jener helle Streifen sich darstellen. In den peripheren Theilen der Blutsäule bewegen sich die Blutkörperchen langsamer und erzeugen, da viele übereinander und mit ihren Flächen der Gefässwand parallel liegen, die rothen Streifen zu beiden Seiten des glänzenden Streifens.

Wird nun die Circulation durch die Strangulation verlangsamt und findet eine Stauung in den Venen statt, so geräth eben die ganze in diesen letzteren befindliche Blutsäule in Unordnung. Nicht blos in dem axialen Theile des Gefässes, sondern auch in den der Wand des Gefässes

näher liegenden Partien des Blutstromes werden sich einzelne Gruppen von Blutkörperchen schneller bewegen, andere wieder langsamer. Infolge dessen zerfällt der mittlere helle Streifen und in den rothen Streifen treten auch glänzende Punkte und Flecke auf. Doch können auch diese glänzenden Flecke und Punkte vollkommen stille stehen, ohne zu verschwinden. Man muss dann annehmen, dass an diesen Stellen gewisse Gruppen von Blutkörperchen sich in einer solchen Stellung zum Lichteinfalle befinden, dass sie für die Reflexion des Lichtes ganz besonders günstige Bedingungen darbieten.

An der Vereinigungsstelle zweier Venen muss die Verdoppelung des hellen Streifens, deren Zustandekommen man nur mit Hirschberg durch das Getrenntbleiben der beiden Axenströme erklären kann, verschwinden, denn auch hier ist eine Scheidung der Flüssigkeitssäule in einen sich schneller bewegenden Axenstrom und in einen sich langsamer bewegenden Strom nahe der Gefässwand nicht mehr vorhanden.

Es würde sich nur noch fragen, warum man, nachdem die Blutsäule vollständig zur Ruhe gekommen ist, nicht den Reflexstreifen wahrnimmt, den die convexe vordere Fläche der Blutsäule geben muss. Nach der oben angestellten Berechnung wäre derselbe sehr breit und also in seinen einzelnen Theilen sehr lichtschwach. Es ist also wohl nicht zu verwundern, dass ein solcher Streifen vor den glänzenden Flecken und Punkten, die in dem Gefässe zu sehen sind, nicht hervortritt. Ein sehr schmaler, lichtstarker Streifen würde sich wohl noch von diesem Hintergrunde genügend abheben. Ausserdem ist gewiss die Wölbung der vorderen Begrenzungsfläche der Blutsäule bei der gehemmten Circulation keine gleichmässige mehr. Füllt man ein feines Glasröhrchen mit Froschblut und bringt es in das künstliche Auge, so sieht man auf einem rothen Bande den mittleren feinen Reflexstreifen ganz so wie beim Menschenblute.

Beim Hunde bieten sich Verhältnisse dar, welche denen beim Menschen sehr nahe kommen, aber ihnen nicht völlig gleichen. Hirschberg (42) gibt an, dass man die Arterien und Venen beim Hunde nach denselben Kennzeichen unterscheiden könne als beim Menschen. Ich kann dies nicht bestätigen. In Bezug auf den Reflexstreifen besteht ein wesentlicher Unterschied. Während beim Menschen die glänzenden Streifen auf den Venen bedeutend schmäler sind als auf den Arterien, ist dies beim Hunde nicht der Fall. Hier sind die Streifen auf Arterien und Venen in ungefähr der gleichen Breite im Verhältnis zum Durchmesser des Gefässes sichtbar, auf beiden nehmen sie etwa $^1/_3$, manchmal bis fast $^1/_2$ des Gefässdurchmessers ein.

Aber auch die Blutfarbe in den Gefässen ist beim Menschen und beim Hunde nicht die gleiche. An den Arterien ist keine deutliche Differenz zu finden, wohl aber an den Venen. Das Blut in denselben erscheint mir

beim Hunde bedeutend heller als beim Menschen. In den Gefässen kann man auch bei Anwendung einer stärkeren Vergrösserung, in der Weise wie es Schultén*) gethan hat, keine Strömungserscheinungen wie beim Frosche, beobachten.

Die nach oben über das Tapetum lucidum verlaufenden Gefässe sind, wie dies auch Hirschberg beschreibt, sehr dunkel, fast violett und verlieren den hellen Streifen. Hirschberg erklärt dies durch ein optisches Contrastphänomen.

Um nun zu constatiren, ob die Bewegung der Blutsäule in den Gefässen einen Einfluss auf den hellen Streifen in der Mitte der Gefässe hat, unterband ich bei einem Hunde den Opticus unmittelbar hinter dem Bulbus. Ich gieng bei der Operation ganz in derselben Weise vor, wie es Marckwort**) bei seinen Versuchen gethan hatte. Es wurde der Conjunctivalsack intact gelassen und nach Durchschneidung des Ligamentum zygomatico-frontale ein Weg zum Opticus gebahnt. Nachdem um denselben eine starke Fadenschlinge gelegt worden war, überzeugte ich mich mit dem Augenspiegel, dass die hellen Streifen an den Gefässen keine Veränderung zeigten. Hierauf wurde die Fadenschlinge zugeschnürt. Sogleich erblasste die Papille. Die Arterien wurden, offenbar weil sie durch ihre Contraction das Blut austrieben, sehr enge, meist fadendünn. Die Venen waren nur auf der Papille und den zunächst liegenden Theilen der Retina enger, weiterhin behielten sie ihr früheres Caliber fast vollkommen bei

Eine sehr auffallende Veränderung war aber an den hellen Streifen der Venen zu sehen. Wir haben oben ihre Breite mit $^1/_3$ oder selbst noch mehr des Gefässdurchmessers angegeben. Nach der Unterbindung des Opticus sind sie sehr auffallend schmäler geworden, obwohl sich der Gefässdurchmesser gar nicht merklich verändert hat; an den zwei nach unten verlaufenden grösseren Venen hatte jetzt der helle Streifen an der grösseren nur mehr (mit der oben erwähnten Skala verglichen) $^1/_6$—$^1/_8$ des Gefässdurchmessers, an der kleineren gar nur $^1/_{10}$—$^1/_{12}$. Dieser Versuch wurde bei drei Hunden an beiden Augen, also im Ganzen 6 mal vorgenommen und gab stets ein ganz gleiches Resultat. Bei zwei Versuchen wurde die zusammengezogene Schlinge wieder gelüftet, worauf sich die Reflexstreifen wieder in der früheren Breite herstellten, um beim neuerlichen Zusammenziehen der Schlinge sich wieder zu verschmälern. Dabei erschienen die Gefässe immer ganz scharf, die Netzhaut gar nicht getrübt.

---

*) Schultén, über die Beobachtung des Augenhintergrundes unter hochgradiger Vergrösserung mit zwei Concavspiegeln. Du Bois-Reymonds Archiv f. Physiologie und Anatomie 1882. S. 285.

Schultén, Experimentelle Untersuchungen über die Circulationsverhältnisse des Auges. Graefe's Archiv f. Ophth. XXX. 3.

**) Marckwort, Experimentelle Studien über Läsionen des Nervus opticus. Archiv f. Augenheilkunde X.

Die Bulbi wurden hierauf enucleirt; der eine Bulbus jedes Hundes wurde sogleich eröffnet, der Opticus so kurz abgeschnitten, dass dabei die Bulbuswand gefenstert wurde, die Retina abgehoben und auf den Objectträger gebracht. Man konnte so an den von Blut erfüllten Venen sehr leicht ihren Querschnitt unter dem Mikroskope messen. Es fanden sich bei zwei Augen von zwei verschiedenen Hunden Werthe zwischen 0·075 an den grösseren Venen, bis 0·045 an den kleineren. Es wurden dabei aber nur 2—3 der grössten Venen, die sichtbar waren, gemessen.

Den anderen Bulbus von jedem der Hunde liess ich frieren, durchschnitt denselben und mass dann die Entfernung der Pupillarebene bis zur Retina. Sie betrug 14—14·75 *mm.* (Die Hunde waren von annähernd gleicher Grösse). Da auch der Durchmesser der durch Atropin künstlich erweiterten Pupille mit 10 *mm* bestimmt worden war, so liess sich berechnen, wie breit der Reflexstreifen erscheinen müsste, wenn er durch einen Reflex an der vorderen Fläche der Blutsäule entsteht. Ich nahm dabei den Durchmesser einer Vene mit 0·07, die Entfernung der Pupille von der Retina mit 14 *mm* an. Es wurde wieder vorausgesetzt, dass der aus dem Auge herausdringende und in das Spiegelloch eintretende Strahlencylinder in der Pupille einen Durchmesser von 3 *mm* hat.

Die Berechnung wurde ganz wie früher für das menschliche Auge vorgenommen. Zuerst wurde die Grösse des von der convexen Fläche entworfenen Spiegelbildes bestimmt und seine Lage hinter der spiegelnden Fläche ($f_3 f_4$ und il in Fig. 21); weiters wurde eg für $p_1 p_2 = 3$ *mm* berechnet. Es fand sich eg = 0·015; dies wäre für diesen bestimmten Durchmesser einer grösseren Vene $\frac{1}{4·6}$ des Gefässdurchmessers. Es ergibt dies eine mit der Beobachtung ganz genügende Uebereinstimmung, wenn man in Rechnung zieht, dass der Querschnitt der Gefässe im Präparat nicht ganz genau dem wirklichen Querschnitt entsprechen konnte.

Es wurde somit die Breite des hellen Streifens, die früher so bedeutend war, dass sie durch einen Reflex an der vorderen Fläche der Blutsäule in dem Gefässe nicht erklärt werden konnte, durch die Hemmung der Circulation auf jene Breite reducirt, wie sie die Rechnung für einen Reflex an der vorderen Fläche der Blutsäule ergibt. Im Zusammenhalte mit den Erscheinungen, die wir am Froschauge beobachtet haben, können wir hieraus schliessen, dass der helle Streifen in den Retinalgefässen des Hundes (sowohl Arterien als Venen) bei normaler Blutströmung durch den Axenstrom bedingt ist. Wird die Blutbewegung in den Gefässen zum Stillstande gebracht, dann tritt jener viel schmälere Reflexstreifen auf, der durch Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule in den Gefässen entsteht, derselbe Reflexstreifen, den man

an dem Blute, welches in das Glasröhrchen gefüllt ist, an dem künstlichen Auge hat wahrnehmen können.

Es wäre allerdings auch möglich, dass der schmälere Streifen nach der Unterbindung durch Reflex an der Gefässwand erzeugt würde, indem dieselbe ihren Brechungsindex verändert hätte (eine Trübung der Gefässwand war nicht wahrzunehmen). Dagegen scheint das ungemein rasche Auftreten des schmalen Streifens zu sprechen. Ob aber der schmälere, nach Unterbrechung der Circulation erscheinende Streifen durch Reflex an der vorderen Fläche der Blutsäule oder der vorderen Fläche der Gefässwand entsteht, dies kann auf die Auffassung des breiten, bei normaler Circulation sichtbaren hellen Streifens, als Ausdruck des Axenstromes keinen Einfluss haben. Dieser breite Streifen verschwand eben bei der Unterbindung des Opticus.

Fragen wir uns noch, warum die Gefässe, die über das schillernde Tapetum beim Hunde verlaufen, so dunkel aussehen. Diese eigenthümliche Erscheinung fehlt, wenn man ein Hundeauge sogleich nach der Enucleation durch einen Aequatorialschnitt eröffnet und die Netzhaut von innen betrachtet. Die Gefässe zeigen dann sowohl vor dem hellen Tapetum, als vor den übrigen Partien des Augengrundes dieselbe hellrothe Farbe.

Zunächst ist hier zu bemerken, dass, wenn wir oben die Blutsäulen in den Gefässen als undurchsichtig bezeichnet haben, dies ja natürlich nicht sagt, dass von ihnen gar kein Licht durchgelassen wird. Vielmehr ist dies bis zu einem gewissen Grade der Fall. Man kann auch beim Menschen öfter sehen, dass dort, wo sich zwei dünnere Gefässe kreuzen, das unterliegende Gefäss manchmal undeutlich durch das darüberliegende durchschimmert. Es ist also nicht zu leugnen, dass ein Einfluss des Hintergrundes, vor dem die Gefässe verlaufen, auf die Farbe der Gefässe möglich ist, wenn auch die Entstehung des Reflexstreifens durch eine Durchleuchtung des Gefässes, wie es sich Loring gedacht hat, nicht zugegeben werden kann.

Ich habe, um diese Verhältnisse zu studiren, ein Stück der frischen, aus dem Hundeauge herausgenommenen Chorioidea mit dem glänzenden Tapetum auf ein Deckgläschen gebracht und darüber ein mit Menschenblut gefülltes feines Glasröhrchen befestigt. Das Ganze wurde in unser künstliches Auge eingesenkt und darin mit dem Augenspiegel betrachtet. Es zeigte sich deutlich, dass dort, wo die Blutsäule vor dem grünlich glänzenden Tapetum lag, die Farbe des Blutes viel dunkler, fast schwärzlich war. Es wurden ferner schmale Streifen jenes transparenten Papiers, wie man es als Glasmalerei-Imitation für Fenster benutzt, auf einen kleinen Planspiegel geklebt, u. zw. ein rothes, ein grünes und ein blaues Streifchen und über jedem dieser verschiedenfarbigen Streifen eine sehr feine Glasröhre, die menschliches Blut enthielt, angebracht. Der kleine Planspiegel wurde nun in dem künstlichen Auge mit dem Augenspiegel beleuchtet, so dass die Röhrchen

vor den Streifen aus verschiedenfarbigem Papier sichtbar waren. Hinter den Letzteren bewirkte der Spiegel eine starke Lichtreflexion. Vor dem rothen Papierstreifen war das Blut hellroth, vor dem grünen bedeutend dunkler, fast schwärzlich, vor dem blauen Streifen violett. Dabei sind aber die zarten weissglänzenden Reflexstreifen an den Blutsäulen ganz unverändert an allen drei Röhrchen sichtbar.

Es ist also der Grund für die dunkle Farbe des Blutes vor dem hellglänzenden Tapetum des Hundeauges wohl im Folgenden zu suchen: Bei dem Abstande zwischen den Netzhautgefässen und dem Tapetum und bei der Weite der Pupille des Hundeauges gelangt neben den Gefässen vorbei das Licht auch auf die hinter dem Gefässe liegenden Partien des Tapetums. Von dort wird sehr viel grünes Licht reflectirt. Bei den kleineren Netzhautgefässen kann nun etwas von diesem sehr intensiven grünen Lichte durch die Gefässe hindurchtreten. Da die Gefässe, oder vielmehr die Blutsäule, in den Gefässen roth ist, so wird das grüne Licht von der Blutsäule grösstentheils absorbirt.

Für die grösseren Gefässe, die äusserst wenig oder gar kein Licht durchlassen, kann man diese Erklärung nicht annehmen. Bei diesen kommt nur das von ihnen reflectirte Licht in Betracht. Nun bekommen wir allerdings auf unserer Netzhaut ein Bild der rothgefärbten Gefässe, welche vor dem grünen Tapetum liegen. Es wird aber, wie gesagt, unter den gegebenen Umständen (weite Pupille auch ohne künstliche Erweiterung und Abstand der Gefässe vom Tapetum) auch Licht von dem Tapetum hinter den Gefässen reflectirt und gelangt neben dem Gefäss vorbei zur Pupille. Dieses Licht, welches grün ist, trifft nun, da es aus derselben Richtung wie die vom Gefässe reflectirten Strahlen herkommt, in unserem Auge dieselbe Netzhautstelle, auf der das Bild des Netzhautgefässes entsteht, es wird sich folglich das Grün des Tapetum und das Roth der Gefässe als Gegenfarben grösstentheils aufheben, die Gefässe werden sehr dunkel erscheinen und dort, wo der Blutfarbe auch Blau beigemischt ist, wie an den Venen, violett. Durch blossen Contrast kann das dunkle Aussehen der Gefässe nicht erklärt werden, denn um einen solchen hervorzurufen, ist ein längeres Fixiren des Bildes nothwendig. Die eigenthümliche Farbe tritt aber sogleich auf den ersten Blick hervor.

Nun versteht man auch die Erscheinung, dass die Gefässe vor dem Tapetum lucidum nur sehr undeutliche oder fast gar keine hellen Streifen in ihrer Mitte haben. Die Streifen sind eben hellroth, nicht weiss. Sie werden also ebenso durch die Farbe des Tapetum beeinflusst, wie die Farbe der dunkelrothen Streifen an ihrer Seite.

In dem soeben Gesagten liegt auch die Erklärung für das Fehlen der dunklen Farbe der Netzhautgefässe vor dem grünen Tapetum bei Betrachtung des eröffneten Bulbus. Hier bekommen wir in der That von dem

Tapetum hinter den Gefässen kein Licht, das auf die Stellen unserer Netzhaut, wo das Bild der Gefässe sich befindet, fallen würde. Das dioptrische System des mit dem Augenspiegel untersuchten Auges hatte sowohl die Wirkung, das Licht auf das Tapetum hinter den Gefässen zu leiten, als auch die von dort reflectirten Lichtstrahlen nach dem Austritte aus dem Auge parallel zu machen, so dass sie im Auge des Beobachters auf das Bild der Netzhautgefässe gelangen können.

Wenn aber der helle Streifen auf den Gefässen des Hundeauges durch den Axenstrom hervorgerufen wird, warum sieht man in demselben keine Strömung wie in den Gefässen des Froschauges. Dies wird offenbar durch die zu geringe Vergrösserung und durch die zu geringe Grösse der Blutkörperchen des Hundes bedingt. Ihr Durchmesser beträgt ja nur 7·3 μ, während jene des Frosches im grösseren Durchmesser 22 μ haben. Durch die schwache Vergrösserung wird wohl auch das Fehlen der Verdoppelung der hellen Streifen an den Vereinigungsstellen der Venen beim Hunde zu erklären sein.

Kehren wir nun zu den Verhältnissen beim Menschen zurück. Wir haben oben die Ansicht ausgesprochen, dass die hellen Streifen auf den Venen im menschlichen Auge wirklich durch Reflex an der vorderen Fläche der Blutsäule entstehen. Die Gründe dafür sind folgende:

1. Die Breite der glänzenden Streifen entspricht vollkommen der Breite, wie sie nach den Ergebnissen der Rechnung und des Experimentes bei der Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule erwartet werden muss. Denn wenn auch die Reflexstreifen auf den Venen oft etwas breiter erscheinen, als man dies nach der Rechnung und dem Experimente erwarten sollte, so darf man nicht vergessen, dass bei der Rechnung sowohl als beim Experimente mit dem künstlichen Auge eine kreisförmige Begrenzung des Querschnittes der Blutsäule vorausgesetzt wurde. Die Venen sind aber im Durchschnitte abgeplattet.

2. Ihre Farbe ist fast rein weiss, ganz so, wie wir sie bei den Versuchen mit dem künstlichen Auge, wo in der That eine Reflexion an der vorderen Fläche der Flüssigkeitssäule stattfand, gesehen haben.

3. Wenn wir durch Unterbindung des Opticus den Blutlauf zum Stillstande bringen, so haben die hellen Streifen auf den Gefässen im Hundeauge ganz jene Breite, wie sie mutatis mutandis der Breite der Reflexstreifen auf den Venen des menschlichen Auges entspricht, so dass wir einen Einfluss der Circulation des Blutes auf die Entstehung der Streifen bei den Venen der menschlichen Retina ausschliessen können.

4. Ihre Breite wechselt mit der Weite der Pupille.

5. Für den Axenstrom wäre die Breite des hellen Streifens zu gering. Wir können hier trotz der allerdings anderen Verhältnisse (bedeutendere Grösse der Blutkörperchen, stärkere Vergrösserung) auf die Breite des hellen Streifens an den Gefässen des Froschaugengrundes hinweisen.

Man sieht den Reflexstreifen auf den Venen nicht doppelt, sowie bei den Versuchen mit dem künstlichen Auge auf den Flüssigkeitssäulen in den Glasröhrchen, einmal weil die Gefässe der Retina dünner sind als das Lumen der dort angewendeten stärkeren Röhrchen und dann weil die vordere Fläche der Blutsäule keine so vollkommene Curve darstellt, wie die Flüssigkeitssäule bei dem Experimente.

Warum wir beim Hunde in den Venen den Axenstrom sehen, während er beim Menschen nicht sichtbar ist, vielmehr an seiner Stelle der schmale Reflexstreifen von der vorderen Fläche der Blutsäule, muss in der dunkleren Farbe des menschlichen Venenblutes seine Ursache haben. In der That sind auch, wie oben erwähnt, die rothen Streifen zu beiden Seiten des hellen Streifens an den Venen der menschlichen Retina viel dunkler als an den Venen der Hunderetina. Es wird eben von dem auf die Netzhautvenen des Menschen fallenden Lichte bereits durch die in langsamerer Bewegung befindliche Wandschichte der Blutkörperchen so viel absorbirt, dass wir den Axenstrom nicht mehr wahrnehmen können.

Der Grund für die dunklere Farbe des Venenblutes beim Menschen kann vielleicht darin gesucht werden, dass die Blutkörperchen ihrem Gewichte nach beim Menschen einen bedeutenderen Bestandtheil des Blutes ausmachen als beim Hunde. Nach Bestimmungen von C. Schmidt und von Fudakowski sind in 100 Gewichtstheilen Blut beim Menschen 51·31 Theile Blutkörperchen und 48·69 Theile Plasma enthalten, beim Hunde dagegen kommen auf 100 Gewichtstheile Blut nur 38·34 Theile Blutkörperchen und 61·65 Theile Plasma.*) Ferner muss hier der grössere Gehalt des Menschenblutes an Haemoglobin erwähnt werden. Preyer fand in 100 Gramm Blut bei einem gesunden Manne als Minimum 12·09, als Maximum 15·07 Theile Haemoglobin. Beim Hunde aber 13·3—13·8 Theile.**)

Dass die grössten Venen auf der Papille und deren nächster Umgebung öfter gar keinen Reflexstreifen zeigen, erklärt sich durch ihren daselbst sehr abgeplatteten Querschnitt. Doch wird der Reflexstreifen dadurch nicht schmäler, sondern im Gegentheile sehr breit und sehr lichtschwach.

*) Rollet, Physiologie des Blutes und der Blutbewegung in Hermann, Handbuch der Physiologie IV. 1. S. 38.

**) Rollet, Physiologie des Blutes und der Blutbewegung in Hermann, Handbuch der Physiologie IV. 1. S. 68.

Auch ist zweifellos die Curve, welche die vordere Begrenzung der Blutsäule bei diesen stark abgeplatteten Stellen der Venen der Reflexion des Lichtes darbietet, eine sehr unregelmässige. (Auch das Verschwinden der Reflexstreifen auf den grösseren Venen bei Compression des Opticus ist durch Abplattung der Venen bedingt.)

Die hellen Streifen auf den Arterien der menschlichen Netzhaut sind der Ausdruck des Axenstromes in denselben, denn:

1. Die hellen Streifen auf den Arterien sind viel zu breit, als dass sie durch Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule hervorgerufen werden könnten. Ihre Breite ist etwa die dreifache von der Breite der hellen Streifen, die durch Reflex an der vorderen Fläche der Blutsäule entstehen würden.

2. Ihre Farbe ist sehr deutlich hellroth im Gegensatze zu den mehr weissen Reflexstreifen auf den Venen. Die rothe Farbe wird dadurch hervorgerufen, dass das vom axialen Theil des Blutcylinders reflectirte Licht die periphere, langsamer sich bewegende, uns roth erscheinende Schicht passiren muss. (Dass die hellen Streifen auf den Gefässen des Froschauges weissglänzend aussehen, erklärt sich aus der blässeren Farbe des Froschblutes und der bedeutenden Grösse der Blutkörperchen.)

3. Sie erscheinen in ihrer Breite ganz analog den hellen Streifen auf den Netzhautgefässen des Hundes. Diese Streifen sind aber bestimmt durch den Axenstrom hervorgerufen, denn sie verwandeln sich nach Sistirung der Circulation in die schmalen Reflexstreifen an der vorderen Begrenzung der Blutsäule.

Dass man innerhalb der hellen Streifen auf den Arterien beim Menschen ebenso wie an den Gefässen des Hundes keine Strömung sieht, erklärt sich wie dort ganz einfach aus der zu geringen Vergrösserung und der Kleinheit der Blutkörperchen (7·7 μ). Hirschberg scheint schon vermuthet zu haben, dass die Reflexstreifen auf den Retinalgefässen des Menschen auch etwas mit dem Axenstrome zu thun haben könnten. Er bemerkt nämlich (l. c.): »Die glitzernden Streifen der rothen Blutgefässe des Froschaugengrundes sind sehr ähnlich dem centralen, sogenannten Reflexstreifen der menschlichen Netzhautgefässe, doch ist in den letzteren ein Strömen nicht zu beobachten.«

Dass der helle Streifen, auch wenn er durch den Axenstrom hervorgerufen ist, bei der Beobachtung im polarisirten Licht verschwinden kann (Krenchel [27.]), erklärt sich dadurch, dass es sich hier allerdings nicht um eine regelmässige Reflexion des Lichtes an einer sphärischen Fläche handelt, aber um regelmässige Reflexion an den einzelnen Blutkörperchen,

deren Reflexe sich in Folge ihrer raschen Bewegung zu dem hellen Streifen zusammensetzen.

An den Arterien und Venen müssen die hellen Streifen bei Erweiterung der Gefässe breiter werden. Bei den Venen, weil der Convexspiegel, den die vordere Fläche der Blutsäule darstellt, einen grösseren Krümmungsradius bekommt. Bei den Arterien, weil in dem weiteren Gefässe der Axenstrom auch ein breiterer sein wird. Daraus erklärt sich die Verbreiterung der Reflexstreifen, die man nach Einathmung von Amylnitrit beobachtet. Allerdings kann besonders bei den Venen, die für gewöhnlich einen abgeplatteten Querschnitt haben, die Erweiterung des Gefässes vielleicht nur dazu führen, dass der Querschnitt des Gefässes kreisförmig wird, wobei der Durchmesser des Kreises gleich dem grösseren Durchmesser des früheren ovalen Querschnittes des Gefässes wird. Dann wird der Krümmungsradius der vorderen Fläche der Blutsäule geringer, der Reflex folglich zunächst schmäler. Erst bei einer noch weitergehenden Erweiterung der Vene würde er wieder breiter werden.

Es ist bekannt, dass die hellen Streifen auf den Netzhautgefässen dann verschwinden, wenn die Gefässe nicht senkrecht, sondern schräg auf die Gesichtslinie des Beobachters verlaufen, so dann, wenn sie in eine Excavation der Papille hineinbiegen, oder wenn, wie dies mitunter vorkommt, ein Theil der Papille etwas prominent ist, dort wo sie in den Fundus hinabsteigen. In geringerem Grade sieht man dieselbe Erscheinung auch vielfach an den Gefässen am Fundus, da dieselben nicht nur Schlängelungen in der Ebene der Retina, sondern auch leichte Biegungen senkrecht auf die Ebene der Retina machen. In pathologischen Fällen findet man dieses Verhalten sehr deutlich, z. B. bei Netzhautablösung oder bei Stauungspapille. Doch ist auch hier oft ein gewisser Unterschied zwischen den Arterien und Venen zu constatiren: der Reflexstreifen auf den Venen verschwindet meist vollständig, während man den hellen Streifen der Arterie sehr häufig auch auf dem schräg zur Gesichtslinie des Beobachters verlaufenden Stücke sehen kann, freilich viel weniger deutlich als auf den übrigen Theilen des Gefässes.

Dem entsprechend sind auch die hellen Streifen auf den Arterien gewöhnlich viel continuirlicher sichtbar. Eine sehr leichte Biegung einer Vene, senkrecht auf die Ebene der Netzhaut genügt meist schon, um den Reflexstreifen verschwinden zu machen. Die Reflexstreifen auf den Venen sind daher vielfach unterbrochen. Auf den Arterien wird man in der Regel keine so starke Beeinflussung des hellen Streifens durch geringe Veränderungen in der Lage des Gefässes zur Gesichtslinie des Beobachters wahrnehmen.

Man hat dieses Verhalten stets dadurch erklärt, dass das auf die vordere Fläche des Gefässes auffallende Licht nach seiner Reflexion von dieser

Fläche dann nicht mehr in das Auge des Beobachters gelangen kann, sobald das Gefäss schräg zur Gesichtslinie des Beobachters verläuft. Dieser Erklärung können wir ganz wohl betreffs der Venen beipflichten. Hier entsteht ja der helle Streifen wirklich durch Reflexion an der vorderen Fläche der Blutsäule. Bezüglich des hellen Streifens auf den Arterien, welcher, wie wir gesehen haben, der Ausdruck des Axenstromes in den Arterien ist, müssen wir nach einem anderen Grunde suchen.

Das Licht, welches durch den Augenspiegel auf das Gefäss geworfen wird, muss, um zu dem Axenstrome zu gelangen, jedenfalls die weniger bewegte Randschichte der Blutkörperchen passiren. Liegt nun das betreffende Stück des Gefässes senkrecht zur Gesichtslinie des Beobachters, so wird das Licht den kürzesten Weg durch die Randschichte zu dem Axenstrome zurückzulegen haben. Verläuft das Gefäss aber schräg zur Gesichtslinie des Beobachters, somit auch zum Lichteinfalle, dann muss das Licht schräg durch die Randschichte der Blutkörperchen durchtreten. Die Schichte von Blutkörperchen, durch die es gehen muss, um zum Axenstrome zu gelangen, ist jetzt viel dicker, das Gefäss wird an dieser Stelle dunkler roth aussehen, wir werden keinen oder nur einen geringen Reflex von dem Axenstrome bekommen. Dennoch wird der helle Streifen auf den Arterien nicht so vollständig und auch nicht bei geringer Schrägheit des Verlaufes des Gefässes verschwinden, wie der Reflex auf den Venen. Bei diesem letzteren handelt es sich um regelmässige Reflexion des Lichtes an einer spiegelnden Fläche, wo eine geringe Aenderung der Lage der spiegelnden Fläche bereits dem reflectirten Lichte eine andere Richtung geben muss. Der helle Streifen auf den Arterien wird aber durch das von dem Axenstrome reflectirte Licht hervorgerufen, das natürlich dann bedeutend schwächer sein wird, eventuell gar nicht mehr sichtbar, wenn nur wenig Licht den Axenstrom erreicht.

Schliesslich hätten wir noch die Bewegungserscheinungen an den Reflexstreifen bei Verschiebungen und Drehungen des Spiegels zu besprechen. Verschiebt man den Kopf und den Spiegel bei Gebrauch eines durchbohrten Spiegels zur Seite, so muss der Reflexstreifen auf den Venen etwas schmäler werden und sich also etwas nach der entgegengesetzten Seite zu verschieben scheinen, da das leuchtende Object für die vordere Fläche der Flüssigkeitssäule in den Venen nun nicht mehr ein ringförmiger Theil der Pupille ist, sondern eine Sichel, deren breite Seite an dem der Richtung der Bewegung entgegengesetzten Rande der Pupille liegt. Es findet also eigentlich wirklich keine Verschiebung des Reflexstreifens statt, sondern es wird der Reflexstreifen nur schmäler u. zw. von der Seite her, nach welcher man sich mit dem Kopfe und Spiegel bewegt hat. Bei den Experimenten mit dem künstlichen Auge beobachteten wir hiebei das Verschwinden des einen Streifens an einem vertical liegenden Röhrchen.

Würden wir diese Verschiebung des Streifens nun blos bei der Anwendung von durchbohrten Spiegeln beobachten, dann könnte uns vielleicht diese Erklärung zufriedenstellen. Man kann dasselbe, wenn auch gewöhnlich nicht ganz so deutlich, aber auch sehen, wenn man mit einem Helmholtz'schen Spiegel untersucht. Hier kann der Reflexstreifen auf den Venen seine Form und Lage gar nicht ändern. Wie man auch den Kopf und den Spiegel verschieben mag, immer ist, sofern nur die ganze Pupille von dem vom Spiegel reflectirten Lichte getroffen wird, eben die ganze Pupille das Leuchtobject für die Spiegelung an der vorderen Fläche der Blutsäule in den Venen. Wenn sich der Streifen aber doch anscheinend in der entgegengesetzten Richtung verschiebt, so kann dies nur darin seinen Grund haben, dass man bei der seitlichen Verschiebung des Kopfes und Spiegels und der dadurch bedingten geänderten Lage der Gesichtslinie zu dem Gefässe auf der einen Seite des hellen Streifens mehr von dem roth erscheinenden Theil des Gefässes sieht, als auf der anderen. Auf der Seite, nach welcher man sich mit dem Kopfe bewegt hat, erscheint der rothe Streifen neben dem Reflexstreifen breiter, es macht somit den Eindruck, als ob sich der Reflexstreifen nach der entgegengesetzten Richtung bewegt hätte. Die Verschiebung der Reflexstreifen ist auch gewöhnlich nur bei erweiterter Pupille deutlich sichtbar und ganz besonders an jenen Gefässen, die leichte Biegungen nach vorne machen, wo man also beim seitlichen Einblick umsomehr von der Seitenfläche des Gefässes sehen kann.

Vollends bewiesen wird diese Ansicht dadurch, dass man bei der Untersuchung mit dem Helmholtz'schen Spiegel die Verschiebung des Streifens auf dem Gefässe sehen kann, wenn man den Spiegel ganz ruhig hält und den Kopf hinter dem Spiegel leicht verschiebt.

Wenn nun auch der helle Streifen auf den Arterien nicht durch einen Reflex an der vorderen Begrenzung der Blutsäule entsteht, so ist es dennoch möglich, dass auch hier der Lichteinfall einen Einfluss hat. Fällt das Licht besonders intensiv von der einen Seite ein, so wird der helle Streifen auf dieser Seite lichtstärker aussehen. Gewiss spielt aber bei den Arterien noch mehr der Umstand mit, dass man bei der Verschiebung des Kopfes das Gefäss gleichsam von der Seite anschaut.

Noch wäre die zweite Bewegung des hellen Streifens, nämlich die bei einfacher Drehung des Spiegels zu erörtern. Dieselbe erfolgt dann, wenn man das Flammenbild so auf dem Augenhintergrunde wandern lässt, dass das betreffende Gefäss einmal nahe dem einen, das anderemal nahe dem anderen Rande desselben zu liegen kommt. Wir konnten die Erscheinung auch sehr gut an dem künstlichen Auge darstellen, während die erste Bewegung bei Verschiebung des Spiegels zur Seite wegen der bei stärkeren Verschiebungen zu bedeutenden sphaerischen Aberration nicht sehr deutlich zu demonstriren war. Ziemlich auffallend ist die der

Bewegung des Flammenbildes gleichsinnige Verschiebung des Reflexstreifens dann zu sehen, wenn man den Spiegel von 8 *cm* Brennweite nimmt, bei Beleuchtung mit dem schwächeren Concavspiegel dagegen sieht man sehr oft nur eine Andeutung davon.

Was den Strahleneinfall ins Auge dabei anbelangt, so verweisen wir auf Fig 17 und das im ersten Theile zur Erklärung dieser Figur Gesagte. Wenn man den Spiegel temporalwärts dreht, so ist es ein temporaler Theil der Pupille, von dem aus das Gefäss beleuchtet wird. Der Reflexstreifen stellt sich somit schmäler dar (im künstlichen Auge nur einfach statt doppelt) u. zw. scheint er auf dem Gefässe jetzt mehr temporalwärts zu liegen. Es ist nun wieder das verzerrte Bild einer Sichel statt eines Ringes, das sich auf dem Gefässe abbildet. Auch der helle Streifen auf den Arterien wird infolge des von einer Seite erfolgenden Lichteinfalles durch die Drehung des Spiegels unter den angegebenen Umständen zur Seite zu rücken scheinen.

II. Abschnitt.

Reflexe an der Netzhaut mit Ausnahme des Bereiches der Macula lutea.

A. Reflexe neben und zwischen den Netzhautgefässen.

Literatur.

Schon Liebreich (4) erwähnt diese Netzhautreflexe neben den Gefässen. Er sagt: »Nur an einigen wenigen Individuen mit normalen Augen beobachtete ich ein eigenthümliches Phänomen, welches offenbar durch eine ganz besondere Spiegelung einzelner Netzhautpartien veranlasst ist. Es wurden nämlich bei diesen jugendlichen Individuen, deren Augenhintergrund ein sehr brillantes Bild darbot, die Retinalgefässe von hellen, glänzenden Streifen begleitet, die bei kleinen Drehungen des Spiegels von einer Seite des Gefässes zur anderen übersprangen und immer nur an jenen Stellen deutlich sichtbar wurden, auf die gerade das hellste Kernlicht des Spiegels auffiel«.

Eine genauere Beschreibung dieser eigenthümlichen, bei jungen Individuen, besonders auf dunkel pigmentirter Aderhaut zu beobachtenden Reflexe rührt von Schirmer (8) her. Er sagt, dass die Netzhautgefässe oft von einem hellen Streifen begleitet erscheinen, welcher meist an der dem Kernlichte des Augenspiegels abgewendeten Seite der Gefässe sichtbar ist. Selten sieht man ihn an beiden Seiten des Gefässes zugleich, wenn dasselbe mitten in dem beleuchteten Gesichtsfelde liegt. Manchmal, besonders in der Gegend der Macula, bekommt man auch Partien zu Gesichte, deren Aussehen Schirmer mit kleinen verästelten, hell glänzenden Eisblumen an den Fensterscheiben vergleicht. Diese Erscheinung wird von Schirmer auf die Anordnung der feinsten Gefässvertheilung zurückgeführt. Eine Erklärung für das Zustandekommen dieser Reflexe wird von ihm nicht gegeben.

Parent (37) leitet die Entstehung dieser Reflexe von den spiegelnden Eigenschaften der Limitans interna her. Er empfiehlt zur Beobachtung der

Netzhautreflexe im aufrechten Bilde die Beleuchtung mit einem stärkeren Concavspiegel, da eine gleichmässige Beleuchtung des ganzen Gesichtsfeldes nöthig sei, für die Untersuchung im verkehrten Bilde den Planspiegel und eine Linse von 10 D und grossem Durchmesser.

Spencer-Watson (47) bezeichnet die glitzernden, beweglichen Reflexe als »shot-silk retina« (zweidrähtige Seide). Er findet sie häufiger bei hypermetropischen und mit Strabismus behafteten Kindern. Sie sollen durch eine Opalescenz der Retina bewirkt werden. Spencer-Watson glaubt, dass diese Opalescenz ein aus dem foetalen Zustande zurückgebliebener Defect sei.

Mit diesen Reflexen beschäftigt sich ferner M. Gunn (55). Die meisten Streifen bei »shot silk« oder »watered silk retina« variiren nach seiner Angabe an verschiedenen Theilen des Gefässes sehr in der Breite unabhängig von Bewegungen des Auges oder des Spiegels. Der innere Rand des Bandes ist oft sehr nahe an dem Gefässe, aber nicht continuirlich mit demselben. Manchmal erreicht ein solcher Streifen einen ähnlichen, der neben einem anderen Gefässe liegt. Wenn man den Spiegel dreht (tilting), so kann man oft das Band von einer Seite des Gefässes auf die andere überspringen sehen, wobei auch Veränderungen in der Breite des Streifens zu sehen sind. Betrachtet man ein verticales Gefäss, so ist der Streifen beim aufrechten Bilde an derselben Seite, von welcher dasselbe beleuchtet wird. Am besten sieht man diese Reflexe im aufrechten Bilde, bei dunklem Fundus und bei Gebrauch eines starken Concavspiegels. Gunn erinnert sich nicht, sie gesehen zu haben ausser bei Hypermetropie, sicher niemals bei starker Myopie. Bezüglich ihrer Entstehung macht Gunn darauf aufmerksam, dass die Limitans interna keine ebene Fläche darstellt, sondern durch die Gefässe oft stark vorgewölbt wird. Das Gefäss macht oft Schlängelungen senkrecht auf die Ebene der Retina. Das Licht, welches nun ins Auge dringt und auf einen solchen Abhang neben einem Gefässe auffällt, trifft die Fläche unter dem kritischen Winkel und wird total reflectirt. Dieses total reflectirte Licht soll nun die umgebende Retina beleuchten. Wenn das von der beleuchteten Fläche reflectirte Licht durch die Pupille austreten kann, so werden die Reflexe dem Beobachter sichtbar werden.

Der Grund, warum man die Reflexe nicht immer sieht, könnte nun darin liegen, dass nicht alle Netzhäute eine genügende Unebenheit ihrer Oberfläche zeigen. Auf diese Erklärung wurde Gunn durch Nettleship geführt, der ihn darauf aufmerksam machte, dass Ammon beim Foetus die Retina als gefaltet beschreibt und erwähnt, dass das Innere der Retina mit einem Perlmutterglanze begabt sei. Dieser Zustand mag, so glaubt Gunn, manchmal in geringem Grade stationär bleiben.

Bezüglich des Vorkommens der Netzhautreflexe finde ich bei Schleich (48) die Angabe, dass er sie bei Neugeborenen nicht wahrnehmen konnte.

Weiss (51) ist geneigt, »einen Theil der bei kindlichen Augen so häufig vorkommenden Reflexe, die man häufig auch noch bei Einstellung auf eine mehr oder weniger weit vor der Netzhaut gelegene Stelle deutlich sieht, auf kleine anatomisch in den periphersten Schichten des Glaskörpers nachgewiesene, mit Flüssigkeit erfüllte Spalträume zu beziehen.« Bei Neugeborenen finden sie sich deshalb nicht, weil die Spalten im Glaskörper sich erst später bilden. »Zum anderen Theile wären die Reflexe in kindlichen Augen an die innere Oberfläche der Retina zu verlegen, wie daraus hervorgeht, dass sie den Unebenheiten der Retina auf das Genaueste entsprechen, welche einerseits durch den Gefässverlauf, andererseits durch die verschiedene Dicke der Membrana limitans an der Macula und Fovea bedingt sind.«

Bezüglich der Höhlen im Glaskörper bezieht sich Weiss auf die Arbeiten von Arnold, Herzog Carl, Iwanoff und Weiss. Auch grössere Hohlräume im Glaskörper soll man mit dem Augenspiegel sehen können Hierüber sagt Weiss: »Durchsucht man in solchen Fällen den Glaskörper von hinten nach vorn mit dem Augenspiegel, indem man aufsteigend immer stärkere Gläser vorsetzt, so sieht man an bestimmten Stellen weit vorne am Augenhintergrunde ein System concentrischer Reflexringe, deren Durchmesser bald kleiner bald grösser sind, je nachdem es sich um Reflexe von dem mittleren weitesten Theile des Hohlraumes handelt oder um solche von einer weiter nach vorn oder nach rückwärts gelegenen Stelle.« Weiss hat vergeblich anatomisch nach einem besonderen häutigen Gebilde gesucht, das die Hohlräume des Glaskörpers auskleidet. »Der Nachweis eines solchen würde das Zustandekommen der Reflexringe plausibler erscheinen lassen.« »Der Brechungsindex der Glaskörpersubstanz und der den Hohlraum erfüllenden Flüssigkeit dürfte voraussichtlich nicht erheblich verschieden sein; wenn gleichwohl die Wandung der Glaskörperhohlräume Licht reflectirt, so ist dies vielleicht darauf zurückzuführen, dass das Glaskörpergewebe zunächst um diese Glaskörperhöhle dichter ist.«

Eine bestimmte Form des Netzhautreflexes, deren Entstehung, wie wir später sehen werden, in einen anderen Theil des Auges verlegt wurde, hat Berlin (50) beschrieben. Er erwähnte bei Gelegenheit eines Vortrages von Weiss über den von diesem beobachteten Reflex bei Myopie, dass er vorwiegend bei Hypermetropie und namentlich bei Astigmatismus der Kinder, nur ausnahmsweise bei Myopie einen eigenthümlichen ringförmigen Reflex gesehen habe. Er scheint nicht so tief im Auge zu liegen, als der von Weiss gesehene, sondern unmittelbar in der Gegend der hinteren Linsenfläche. Unter Umständen ist nicht bloss ein einziger Reflex zu sehen,

sondern zwei, die dicht bei einander zu liegen scheinen. Wenn man sich aber mit dem Kopfe bewegt, so sieht man, wie sie sich parallaktisch gegen einander verschieben, so dass der eine von Beiden, der hintere, wie sich Berlin ausdrückt, sozusagen der Schatten ist, welchen der vor ihm gelegene auf die Retina wirft. Berlin versetzt den Reflex an die hintere Fläche der Linse oder in den vorderen Theil des Glaskörpers und glaubt, dass er durch die Mechanik der Accommodation hervorgerufen wird. Träufelt man nämlich Atropin ein, so verschwindet er. Berlin hat den Reflex bei Schulkindern in einem sehr hohen Percentsatze gesehen und hat den Eindruck bekommen, »dass der Reflex verschwindet, indem unter dem Einflusse der dauernden mechanischen Wirkung der Accommodation auf das Auge, die anfänglich unregelmässigen Krümmungen, die in der Gegend des hinteren Linsenpoles entstanden sind, sich ausgleichen, so zwar, dass, wenn aus Hypermetropie Emmetropie oder Myopie sich entwickelt, der Reflex sich verliert.«

Anschliessend an diese Ausführungen von Berlin sagt Weiss, dass es sich dabei wahrscheinlich um eine Reflexerscheinung handeln könnte, welche im vordersten Theile des Glaskörpers entsteht. Er weist auf die Hohlräume hin, welche Iwanoff u. A. im Glaskörper myopischer Augen gefunden haben. Manchmal finde man bei Myopen ganze Systeme von glänzenden Ringen, die am schönsten sichtbar sind, wenn man sich durch Convexgläser für die Mitte oder den vordersten Theil des Glaskörpers einstellt. Doch glaubt Weiss, dass der von Berlin beschriebene Reflex auf andere Weise entstehe, da er bei Atropinmydriasis verschwinde. »Denn selbstverständlich bleiben die erwähnten concentrischen Reflexringe unverändert, einerlei ob Atropin ins Auge geträufelt ist oder nicht.«

Heuse (49) gibt an, dass er bei etwa $^1/_4$ der kindlichen Augen, jedoch nur bei Emmetropie oder Hypermetropie einen eigenthümlichen Reflex auf der Retina gefunden habe. Er erscheint beim Spiegeln im aufrechten Bilde, wobei die Flamme etwa 10 *cm* oberhalb und 20 *cm* hinter dem beobachteten Auge angebracht ist. Der Reflex besteht aus einem schmalen ovalen Lichtringe, der aber nach der Lage und Beschaffenheit der beleuchteten Stelle seine Gestalt ändern kann. Trifft er auf ein Netzhautgefäss, so nimmt er eine Herzform an. »Zuweilen ist ein Theil des Ringes in einen breiten diffus leuchtenden Streifen aufgelöst, zuweilen stehen zwei ganz schwache Ringe in einander theilweise verschränkt unter einander.« Zweimal hat Heuse an Stelle des Ringes ein deutliches ausserordentlich blasses umgekehrtes Flammenbild gesehen, dessen Grösse in der Richtung von oben nach unten nur wenig kleiner als das vom Augenspiegel entworfene Bild war, in der Breite aber etwa $^1/_6$ der Grösse dieses Bildes betrug. »Man sieht den Lichtring am besten, wenn man mit dem Spiegel dicht an dem Auge ist, zieht man sich davon zurück, so verwandelt er sich in eine

diffuse weissliche Scheibe, welche vor der Netzhaut zu schweben scheint. Der Ring liegt immer innerhalb des Netzhautbildes der Flamme des Augenspiegels, bewegt sich gleichseitig mit den Bewegungen des Kopfes des Beobachters und ändert seine Stelle auf der Netzhaut nur minimal bei Drehungen des Spiegels um seine Längsaxe. Der Ort, wo die Erscheinung am leichtesten bemerkt wird, ist zwischen der Macula lutea und der Papille; bei einzelnen Augen erblickt man sie an verschiedenen Netzhautpartien, bei anderen wieder nur an dieser Stelle par excellence, bei sehr vielen gar nicht.« Bei älteren Leuten bemerkte Heuse nur eine schwache Andeutung des Ringes, am besten war sie bei kindlichen und blauen Augen ausgesprochen. Doch sah er die Erscheinung einmal besonders schön bei einem emmetropischen 7-jährigen Knaben mit sehr dunkel pigmentirter Chorioidea. Die beiden Fälle, in denen das umgekehrte Flammenbild erschien, gehörten ganz dunkel pigmentirten Kindern im Alter von 8—13 Jahren mit Emmetropie.

Bezüglich der Erklärung erinnert Heuse an die ähnlich gestalteten Formen, die man auf dem Boden gleichmässig beleuchteter beckenförmiger Gefässe sieht und da das Augeninnere der Beckenform nicht unähnlich ist, so wäre der Ring ein Reflex von den Wänden des Augeninneren. Dabei bezieht sich Heuse auf eine von ihm beschriebene entoptische Erscheinung*). Hält man nämlich eine Kerzenflamme etwa 8″ vor dem rechten Auge und 4″ seitlich, so sieht man nach links ein deutlich umgekehrtes, vergrössertes und lichtschwaches Bild der Flamme. Das Zustandekommen dieses zweiten Bildes wird von Heuse folgendermassen erklärt: Er betrachtet die Retina als einen Hohlspiegel. Das Licht, welches von der Kerzenflamme kommend, auf diesem Hohlspiegel in A zu einem Bilde vereinigt wird, soll nun zum Theile regelmässig divergent reflectirt werden und an eine gegenüberliegende Stelle der Retina B gelangen. Diese wirkt wieder als Hohlspiegel und erzeugt auf einer 3. Netzhautstelle C ein Flammenbild. Das durch die Medien des Auges entworfene Flammenbild in A ist verkehrt und wird also aufrecht nach aussen projicirt; von diesem Flammenbilde gehen divergente Strahlen nach B. B entwirft dann in C ein Flammenbild, welches im Vergleiche zu dem in A entworfenen verkehrt ist, also aufrecht wie die Kerzenflamme selbst. Dieses Bild in C muss also nach aussen projicirt, als ein verkehrtes Bild der Kerzenflamme erscheinen.

Heuse meint nun, dass sich das von ihm beim Ophthalmoskopiren gesehene, kleine verkehrte Flammenbild durch eine »doppelte Reflexion

*) Heuse, über die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung. Graefe's Archiv f. Ophth. XVIII. 2. 1872.

innerhalb der Netzhautschale« erklären lasse, »so nämlich, dass von dem zuerst reflectirten auch subjectiv wahrnehmbaren Reflexbilde ein abermaliges Reflectiren nach der Ursprungsstelle stattfindet.«

Eigene ophthalmoskopische Beobachtungen.

Die Netzhautreflexe neben und zwischen den Gefässen erscheinen nicht in der gleichen Art bei der Untersuchung im aufrechten und im verkehrten Bilde, auch ändern sie sich bei der Verwendung verschiedener Spiegel und sobald die Strahlen in verschiedener Weise auf die Netzhaut fallen.

Im umgekehrten Bilde zeigen sich bei enger Pupille die Netzhautreflexe gewöhnlich nur als schwach glänzende Streifen neben den grösseren Netzhautgefässen ohne sehr scharfe Begrenzung. Dieselben sind meist um ein Vielfaches breiter als die Gefässe und liegen auch oft zum Theile vor denselben. Verschiebt man die Convexlinse bei ruhig gehaltenem Spiegel, so bewegen sie sich anscheinend in derselben Richtung. Blickt man in schiefer Richtung ins Auge, so wie dies die Fig. 6 darstellt, was allerdings bei nicht künstlich erweiterter Pupille nur in geringem Maasse möglich ist, ohne das Bild ganz zu verlieren, und bewegt sich dann, Spiegel und Linse möglichst genau centrirt haltend, so, dass man mehr und mehr in der Richtung der optischen Axe ins Auge hineinsieht, so scheinen sich die Reflexe, doch meist nur undeutlich, in derselben Richtung zu verschieben, in der man Spiegel und Kopf bewegt hat. Hält man die Linse vollständig ruhig vor dem untersuchten Auge und dreht den Spiegel in irgend einer Richtung, wobei der Mittelpunkt des Spiegels immer am gleichen Orte bleibt, so kann man keine deutliche Veränderung an den Netzhautreflexen bemerken.

Bei künstlich erweiterter Pupille sind diese Reflexe entweder gar nicht zu sehen oder nur schwach angedeutet. Wirft man aber in der oben auseinandergesetzten Weise parallele Strahlenbündel bei Mydriasis auf die Netzhaut, dann treten sehr ausgebildete Reflexe mit überraschender Deutlichkeit auf. Ganz ausgebreitete Netzhautstrecken zwischen den Gefässen erscheinen in einem prächtigen, glitzernden Glanz, der der Netzhaut daselbst das Aussehen von glänzender Seide gibt. Unmittelbar neben den Gefässen fehlt dieser Glanz gewöhnlich, so dass die Gefässe wie von dunklen Scheiden umrahmt aussehen. Das ganze Bild ist aber bei kleinen Bewegungen des Auges, des Spiegels oder der Linse ein ungemein wech-

selndes, indem die Reflexe sich auf der Retina verschieben und an anderen Stellen und auch in anderer Form auftauchen.

Untersucht man im aufrechten Bilde mit dem Helmholtz'schen Beleuchtungsapparate, dann fehlen ähnliche Erscheinungen vollständig. Wohl sieht man neben den grösseren Netzhautgefässen mitunter zarte, weissliche, undeutlich begrenzte Streifen, welche denselben unmittelbar anliegen. Doch verschieben sich dieselben bei Drehungen und Verschiebungen des Spiegels gar nicht. Sie sind offenbar der Ausdruck der Gefässwand und werden durch diffus an derselben reflectirtes Licht erzeugt. Man ist beim Gebrauch des Helmholtz'schen Spiegels leichter im Stande, feinere Details in der Retina oder unter derselben zu erkennen, weil man durch die Netzhautreflexe nicht behindert wird. Darin liegt wohl ein Hauptvortheil dieses von Jaeger so eindringlich empfohlenen Spiegels.

Ganz anders ist es aber, wenn man mit einem durchbohrten Planspiegel oder einem Concavspiegel von grösserer Brennweite (18 *cm*), bei enger Pupille Licht in das Auge wirft. Man sieht dann oft massenhafte Netzhautreflexe, die durch ihren weissen Glanz und ihre Beweglichkeit bei Bewegungen des Spiegels sich sogleich als solche documentiren. Sie sind am auffallendsten neben den grösseren Gefässen. Dort treten sie als glänzende Streifen auf, die die Gefässe begleiten, aber denselben nicht unmittelbar anliegen, vielmehr durch einen dunklen, schmalen Zwischenraum von ihnen getrennt sind. Dieser Zwischenraum ist auch bei ruhiger Spiegelhaltung (und diese wollen wir zunächst voraussetzen) sehr verschieden. Die Streifen selbst zeigen in ihrem Verlaufe vielfache unregelmässige Verbreiterungen und Verschmälerungen. Meist sind sie gegen das Gefäss zu schärfer begrenzt als nach aussen und daselbst bedeutend heller. Manchmal gehen sie auch quer über die Netzhautgefässe hinweg. Gewöhnlich kann man dann nachweisen, dass unweit von diesen Stellen sich Netzhautgefässe überkreuzen. Nicht allzuselten findet man auch Gefässe, welche an beiden Seiten von solchen Reflexstreifen auf kurze oder lange Strecken hin gefolgt sind.

An den von Retinalgefässen frei gelassenen Stellen sieht man oft ganz unregelmässige Reflexfiguren, die annähernd Sichelform oder Ringform haben. Häufig gehen solche Figuren auch theilweise über Netzhautgefässe hinweg. Es lässt sich für diese Reflexe keine nähere Beschreibung geben, da ihre Form sehr wechselnd ist. Nur das kann man fast immer constatiren, dass sie in einer gewissen Beziehung zum Gefässverlaufe stehen, sich also dort vorfinden, wo grössere Gefässe durch kleine Zwischenräume von einander getrennt sind. In der Peripherie des Augengrundes, wo nur feinere Gefässe in grösserer Entfernung von einander liegen, sind auch die Reflexe spärlicher oder fehlen vollkommen.

Nimmt man einen starken Concavspiegel (8 *cm*), dann sind die Reflexe nicht nur lichtstärker, sondern ändern auch in gewisser Beziehung ihre Form. Die Streifen neben den Gefässen werden breiter und breiter und fliessen mit solchen, die neben benachbarten Gefässen liegen, zusammen, so dass grössere Netzhautflächen sich in dem glänzenden Schimmer präsentiren.

Man bekommt so an manchen Stellen ein ganz ähnliches Bild, wie man es auch bei der Untersuchung im verkehrten Bilde sieht, wenn man parallele Strahlenbündel auf die Netzhaut wirft. — Es glänzt die Netzhaut vielfach auf grössere Strecken, die Gefässe begleiten aber schmale, dunkle nicht glänzende Streifen, neben denen wieder die glänzenden Flächen mit einem am Rande oft vermehrten Glanze beginnen. Wenn man auch im aufrechten Bilde parallele Strahlenbündel mittels der oben beschriebenen besonderen Vorrichtung auf die Netzhaut fallen lässt, so bekommt man ganz dasselbe Aussehen, wie unter den gleichen Verhältnissen des Strahleneinfalles im verkehrten Bilde.

Sämmtliche Netzhautreflexe liegen zum Theile anscheinend in der Ebene der Netzhautgefässe, zum Theile machen sie sogleich den Eindruck, als ob sie vor denselben schweben würden. Versucht man, verschiedene Gläser hinter dem Spiegel einzulegen, so kann man nicht bei allen, aber bei sehr vielen eine deutliche Refractions-Differenz zwischen ihnen und den Netzhautgefässen nachweisen. Sie erscheinen noch deutlich, ja manchmal deutlicher, wenn man sich auf den hintersten Theil des Glaskörpers vor der Retina einstellt. Dabei kann man oft die Wahrnehmung machen, dass man mit verschiedenen Linsen die Reflexe in ziemlich gleicher Deutlichkeit sehen kann, so dass man ein stärkstes und ein schwächstes Glas angeben kann, mit dem der Reflexstreifen noch sichtbar ist. Der Unterschied der betreffenden Correctionsgläser ist aber in der Regel nur gering: 1 — 1·5 D.

Bei diesen Beobachtungen haben wir die gewöhnliche mittlere Distanz der Lampe vom Spiegel und eine nur geringe Entfernung des Spiegels vom untersuchten Auge vorausgesetzt.

Dreht man nun den Spiegel, während man bestimmte Netzhautreflexe mit irgend einem Spiegel betrachtet, um eine beliebige Axe so, dass der Mittelpunkt des Spiegels seinen Ort vor dem untersuchten Auge nicht verlässt, wobei also auch der Kopf des Beobachters ruhig gehalten werden muss, so wird man meist gar keine oder nur eine sehr geringe Veränderung in der Form oder Lage der Reflexe zwischen den Gefässen bemerken.

Verschiebt man dagegen den Kopf sammt dem Spiegel zur Seite oder nach oben oder nach unten, so tritt sogleich ein sehr auffallender Wechsel an den Netzhautreflexen zu Tage. Diejenigen, welche als Streifen neben den Gefässen erscheinen, ändern ihre Lage zu den Ge-

fässen. Fixirt man einen solchen Streifen, der z. B. in der Entfernung des halben Gefässdurchmessers neben einem vertical verlaufenden Gefässe, u. zw. an der temporalen Seite desselben, sichtbar ist, und bewegt sich mit dem Spiegel und seinem Kopfe gegen die Nasenseite des untersuchten Auges, so wandert der Reflexstreifen von dem Gefässe temporalwärts und entfernt sich von demselben manchmal um das zwei- oder dreifache des Gefässdurchmessers. Befand sich der Reflexstreifen aber an der Nasenseite des Gefässes, dann nähert er sich bei einer nasalwärts gerichteten Verschiebung des Spiegels demselben. Ganz die gleichen Verschiebungen der Reflexstreifen sind an den horizontalen Gefässen zu beobachten, sobald man den Spiegel nach auf- oder abwärts bewegt. Bei Gefässen, die von zwei Reflexstreifen begleitet waren, rückt also der eine Streifen an das Gefäss heran, der andere entfernt sich von ihm.

Hat man auf diese Weise einen Reflexstreifen neben einem Gefässe durch die Verschiebung des Spiegels von demselben möglichst weit wegwandern lassen, so kann man ihn natürlich durch die entgegengesetzte Bewegung des Spiegels demselben wieder nähern. Ist der Streifen dem Gefässe dann ganz nahe getreten, so pflegt er zu verschwinden und es lagert sich ein matter und undeutlich begrenzter Schimmer über das ganze Gefäss. Der Reflexstreifen auf der Blutsäule des Gefässes selbst, der früher sehr deutlich zu sehen war, wird jetzt sehr lichtschwach oder verschwindet selbst völlig. Verlaufen zwei Reflexstreifen neben einem Gefässe, so sieht man daher oft nur einen, sobald man den Spiegel in einer gewissen Richtung verschoben hat. Derselbe liegt dann immer an der der Richtung der Spiegelbewegung entgegengesetzten Seite des Gefässes.

An den anderen so vielgestaltigen Netzhautreflexen kann man ebenfalls bei Verschiebungen des Spiegels vor dem Auge immer eine der Spiegelbewegung entgegengesetzte Bewegung wahrnehmen. Dabei pflegen die Reflexe selbst auch ihre Gestalt zu ändern. Manche verschwinden ganz, während andere, früher nicht sichtbare, auftauchen. Es ist dies eben das Bild, welches die Beobachter zu dem Vergleiche mit Moirée veranlasst hat (von den Engländern shot silk retina oder watered silk retina genannt).

Erweitert man in einem Auge, in welchem man die Netzhautreflexe in voller Deutlichkeit gesehen hat, die Pupille durch ein Mydriaticum, so wird man sehr überrascht sein, von allen diesen zahlreichen Reflexen gar nichts oder fast gar nichts zu finden. Die feinen Streifen neben den Gefässen sind verschwunden, oder erscheinen als breite, verwaschene, sehr lichtschwache Bänder, so lichtschwach, dass man oft Mühe hat, sie überhaupt wahrzunehmen. Auch die übrigen Reflexe fehlen oder erscheinen viel breiter, verschwommener und nur sehr lichtschwach auf dem jetzt natürlich viel stärker beleuchteten Augenhintergrunde.

Bezüglich des Vorkommens der Reflexe konnte ich in Uebereinstimmung mit früheren Beobachtungen constatiren, dass man sie im Allgemeinen bei dunkler pigmentirtem Fundus deutlicher und lichtstärker sieht, als bei heller pigmentirten Augen, doch fehlen sie auch in letzteren nicht, ja es gibt Fälle, wo sie auch da in schönster Ausbildung auftreten. Nur bei Augen, die sich durch ihre Pigmentirung bereits den albinotischen Augen nähern, kann man gewöhnlich keine Netzhautreflexe finden.

Auch eine Verschiedenheit der Refraction hat auf die Reflexe einen Einfluss. Am besten sieht man sie jedenfalls bei jugendlichen Hypermetropen, besonders bei hypermetropischen Kindern, demnächst bei Emmetropen, bei welchen sie oft nicht weniger ausgeprägt sind als bei Hypermetropen. Dagegen kann man sie bei Myopie fast nie in einem erheblichen Grade ausgebildet sehen. Dieses verschiedene Verhalten ist auch bei Anisometropie zu finden und ist dann der Unterschied der beiden Augen in dieser Beziehung oft sehr auffallend.

Als Beispiel dafür möge folgender Fall dienen: Ein 17 $^1/_2$jähriger Mann mit hellblonden Haaren und wenig pigmentirtem Fundus hat rechts mit dem Spiegel fast 4D Hypermetropie und Astigmatismus, der sich jedoch nicht vollständig corrigiren lässt ($S = {}^5/_{18}$). Das linke Auge ist myopisch 3D ($S = {}^5/_6$). Aussen und etwas unten von der Papille daselbst ein etwa $^1/_3$ papillenbreiter Conus. Während nun am rechten Auge sich sehr zahlreiche und schöne Netzhautreflexe zeigen, fehlen dieselben am linken Auge bis auf schwache Andeutungen ganz.

Bei aphakischen Augen jugendlicher Individuen (also z. B. nach Discission von Cataracta perinuclearis), die eine starke Hypermetropie von 10—12 D aufweisen, sieht man wohl auch Netzhautreflexe, doch sind sie nicht mehr ausgeprägt als bei Emmetropie oder bei bedeutend geringeren Graden von Hypermetropie.

Bei Neugeborenen, von denen ich eine Anzahl ohne künstliche Pupillenerweiterung in Bezug auf die Netzhautreflexe untersuchte, fand ich fast gar keine Netzhautreflexe oder nur sehr geringe Spuren davon. Es bietet der Augenhintergrund bei Neugeborenen übrigens das Aussehen eines fast albinotischen Fundus dar. Man sieht sehr deutlich die Chorioidealgefässe durch das Pigmentepithel. Auch mir ist sowie anderen Beobachtern die graulich-weisse Farbe der Papille aufgefallen, deren Aussehen oft selbst ähnlich dem bei Sehnervenatrophie ist.

Den von Berlin beschriebenen Reflex kann man sehr oft bei Kindern sehen. Er fällt am meisten auf, wenn man den Spiegel bei der Untersuchung im aufrechten Bilde in einer grösseren Entfernung von 5—6 *cm* vom untersuchten Auge hält. Dann leuchtet beim Lichteinfalle in einer gewissen Richtung ein weisslich glänzender runder oder längsovaler Ring auf. Derselbe ist nach innen zu ziemlich scharf begrenzt, nach aussen mehr verschwommen. Bewegt man sich mit Kopf und Spiegel seitwärts, so wird der Ring an der Seite, nach welcher man sich bewegt hat, um

sehr vieles breiter, die Lichtung des Ringes (hier die dunkle Stelle) bleibt dann nicht mehr rund, sondern wird in horizontaler Richtung etwas ausgezogen — oval. Ist die Verschiebung des Spiegels noch stärker, so verschwindet der Ring gewöhnlich ganz. Dreht man den Spiegel bei ruhig gehaltenem Kopfe um seine Axe, so nimmt man keine deutliche Veränderung an dem Reflexringe wahr.

Nähert man sich in der Richtung, in der der Reflex ganz deutlich gesehen wurde, mit dem Spiegel dem untersuchten Auge, so bleibt der Ring eine zeitlang immer noch deutlich. Ist das untersuchte Auge ein emmetropisches, so ist schliesslich, wenn man sich in grosser Nähe mit dem Spiegel befindet und ein deutliches Bild des Fundus bekommt, der Reflexring nicht mehr zu sehen. Legt man aber, während man mit dem Spiegel näherkommt, immer stärkere und stärkere Convexgläser in den Spiegel ein, so kann man ihn auch dann sehen, wenn der Spiegel knapp vor dem untersuchten Auge ist. Er erscheint dann bei Emmetropie des untersuchten Auges noch mit 4 bis 6 bis 8, manchmal selbst mit 10 D convex deutlich.

Beobachtet man, während man den Kopf sammt dem Spiegel etwas zur Seite verschiebt und aus einiger Entfernung in das untersuchte Auge blickt, ein Netzhautgefäss, so kann man sehen, wie der Ring durch das Gefäss, wenn es in den Bereich des Ringes zu liegen kommt, in seiner Contour verändert wird. Dieselbe erscheint an der Stelle, wo das Gefäss in den Ring eintritt, stark eingekerbt. Manchmal verschwindet der Ring auch ganz, wenn das Gefäss mitten durch ihn verläuft. Manchmal vermehren sich die dem Gefässe entsprechenden Einkerbungen so stark, dass aus dem Ringe gleichsam durch Einschnürung und Theilung zwei Ringe werden. Man kann dies alles besonders gut dann beobachten, wenn das untersuchte Auge stärker hypermetropisch ist, so dass man schon aus einiger Entfernung ein ansehnliches Stück der Retina übersieht.

Man sieht diesen Reflex nicht immer beim Einblicke in das Auge in einer bestimmten Richtung. Betrachtet man die Netzhautpartie, über der er liegt, so ist dieselbe bald nach aussen bald nach innen von der Papille, manchmal auch in einem schrägen Meridian, am häufigsten allerdings zwischen Macula und Papille. Immer kann man aber sehen, dass der Reflex vor einer Stelle der Retina entsteht, an der sich auf einem etwas grösseren Flächenraume keine Gefässe vorfinden. Dort, wo viele und grössere Gefässe mit nur kleinen Zwischenräumen neben einander liegen, findet er sich nicht.

Solche Reflexe kann man auch gelegentlich bei jugendlichen Myopen beobachten. (Siehe W e i s s 51 und 52.) Ich sah sie in solchen Fällen, wo man ausnahmsweise bei Myopie auffallend ausgebildete Netzhautreflexe wahrnahm.

Alle diese ringförmigen Reflexe theilen aber mit den übrigen Netzhautreflexen die Eigenschaft, dass sie bei Mydriasis verschwinden oder nurmehr andeutungsweise sichtbar sind.

In pathologischen Fällen kann man bei jugendlichen Individuen mitunter eine besondere Steigerung oder abnorme Anordnung der Netzhautreflexe finden. Es geschieht dies aber nur dann, wenn gar keine Medientrübung vorhanden ist und auch die Netzhaut an den betreffenden Stellen nicht deutlich getrübt ist. Jugendliche Patienten mit Stauungspapille zeigen manchmal an der der geschwollenen Papille benachbarten nicht getrübten Netzhaut eine ganz excessive Entwicklung der Netzhautreflexe.

Erklärung der ophthalmoskopischen Erscheinungen.

Wenn wir die Erklärungen, die für die soeben beschriebenen Reflexe gegeben wurden, durchgehen, so wäre zunächst zu erwähnen, dass Parent sie auf die spiegelnden Eigenschaften der Membrana limitans interna bezog. Doch hat er nicht erwiesen, dass dadurch die Reflexe, wie man sie mit dem Augenspiegel beobachtet, wirklich auch hervorgerufen werden können. Dass auch die »Opalescenz« der Retina von Spencer-Watson uns keine Erklärung gibt, sondern nur ein Wort ist, das liegt auf der Hand.

Die Ansicht, die Gunn über die Entstehung der Reflexe ausgesprochen hat, ist bei näherer Betrachtung unhaltbar. Gunn spricht von totaler Reflexion an den abhängigen Stellen der inneren Netzhautoberfläche neben den Gefässen. Nun hat aber der Glaskörper gewiss einen geringeren Brechungsindex als die Netzhaut. Es kann also von totaler Reflexion keine Rede sein, da eine solche beim Uebergang aus einem schwächer brechenden in ein stärker brechendes Medium nicht stattfindet. Selbst wenn aber an diesen Flächen eine genügend starke Reflexion zu Stande kommen könnte, so würde durch das daselbst reflectirte Licht die umgebende Netzhaut nur dann erleuchtet werden, wie es Gunn meint, wenn die Neigung der betreffenden Flächen eine sehr starke wäre. Eine einfache Ueberlegung genügt, um zu erfahren, dass das Relief der inneren Netzhautoberfläche Erhabenheiten aufweisen müsste, wie sie in Wirklichkeit bestimmt nicht vorkommen. Aber auch angenommen, dass die Beleuchtung der umgebenden Netzhaut neben einer solchen geneigten Fläche durch Reflexion an dieser Fläche im Bereiche der Möglichkeit läge, so müsste doch zweifellos das auf die umgebende Retina fallende Licht unter sehr grossen Winkeln zu ihr ge-

langen. Es wäre ganz undenkbar, dass diese Lichtstrahlen nach regelmässiger Reflexion die Pupille wieder verlassen könnten. Auch wäre dieses zweimal reflectirte Licht sehr bedeutend abgeschwächt.

Nachdem wir oben im I. Theile dargelegt haben, dass immer ein Theil der beleuchteten Pupille von bestimmter Form und Lage für die einzelnen reflectirenden Flächen auf dem Augenhintergrunde das leuchtende Object bildet, fragt es sich hier, welcher Art die Beschaffenheit dieser reflectirenden Flächen an der Netzhaut sein kann. Betrachten wir die innere Oberfläche der Netzhaut, so ist es eine bekannte Thatsache, dass dieselbe nicht eben ist, sondern, wenn wir zunächst von der Maculagegend und von der Papille und ihrer Umgebung absehen, zahlreiche durch die Gefässe bedingte Niveaudifferenzen darbietet. Dieselben sind allerdings nicht bedeutend, doch können sie sehr wohl hinreichen, um die hier in Betracht kommenden Reflexerscheinungen zu erklären.

Bekanntlich liegen die grösseren Gefässe innerhalb der Nervenfaserschicht u. zw. zumeist dicht unter der Limitans interna, welche durch die Gefässe stellenweise emporgehoben wird. Dieses Verhalten müsste also im Durchschnitte senkrecht auf die Richtung des Gefässes eine nach vorn convexe Fläche, entsprechend dem Gefässe und zu beiden Seiten davon concave Flächen oder vielmehr kleine Stücke von concaven Flächen, die dann in die übrige Netzhautoberfläche übergehen, ergeben. Liegen zwei oder mehrere Gefässe dicht nebeneinander, so können sehr wohl diese concaven Flächen der benachbarten Gefässe gleichsam zusammenfliessen und so ausgebreitetere concave Krümmungen von verschiedener Configuration bilden.

Die neben den Gefässen befindlichen, concaven Flächen sind natürlich nur concav in einem senkrecht auf die Längsrichtung des Gefässes angelegten Durchschnitte, sobald wir voraussetzen, dass das Gefäss vollkommen in einer Ebene verläuft. Doch ist dies nicht der Fall. Die Gefässe machen auch leichte Schlängelungen in senkrechter Richtung auf die Ebene der Netzhaut, so dass ein Gefäss in einer gewissen Strecke seines Verlaufes die Limitans interna mehr emporwölbt als in einer anderen. So kann es geschehen, dass die concaven Flächen neben den Gefässen mitunter auch eine leichte Concavität nach vorn in der Richtung des Gefässverlaufes zeigen können. Nie wird aber die Krümmung in der einen und in der anderen Richtung denselben Radius haben können, so dass eine sphärische Krümmung resultirt. Bei vollkommen geradem Gefässverlaufe in einer Ebene wird die Wölbung der concaven Flächen Stücken der Oberfläche eines Cylinders entsprechen; sobald auch in der anderen Richtung eine Con-

cavität auftritt, ist die Krümmung der zur Seite der Gefässe liegenden Flächen annähernd eine sogenannte Torusfläche.

Endlich sind auch solche Partien der inneren Oberfläche der Retina, welche ausgedehnt sind und keine grösseren Gefässe enthalten, natürlich keine ebenen Flächen, sondern haben zum mindesten annähernd die Krümmung der äusseren Oberfläche der Retina, deren Radius im emmetropischen Auge nach den Maassen des schematischen Auges mit 11·4 *mm* angenommen werden muss. Es kann aber auch sehr wohl der Krümmungshalbmesser dieser Flächen ein anderer sein. Wenn auch nicht angenommen wird, dass bei grösseren gefässlosen Flächen die Vorwölbung der Limitans durch die Gefässe am Rande der ganzen Fläche noch einen Einfluss auf die Krümmung dieser Fläche haben kann, so ist nicht zu vergessen, dass in der Gegend der Macula die Netzhaut dicker ist als in der Umgebung, so dass also ganz gut dadurch die Krümmung der inneren Oberfläche der Retina an Stellen, welche nicht in der Macula oder deren unmittelbaren Nachbarschaft liegen, alterirt werden kann. Eine ähnliche Wirkung kann die Abnahme der Dicke der Retina in der Umgebung der Papille auf die Oberflächenverhältnisse der Retina auch auf einige Entfernung von der Papille hinaus noch haben. (Es soll ja hier zunächst nicht von den Reflexen in der Gegend der Macula und Papille die Rede sein.)

Wie wir oben gesehen haben, ist es nicht immer die ganze Pupille, von der Licht ausgeht, auch ist es oft nur ein Theil der Pupille, durch den die regelmässig reflectirten, aus dem Auge austretenden Strahlen gehen müssen, um in das Spiegelloch zu gelangen, und so vom Auge des Beobachters aufgefangen zu werden. Es sind also oft nur Bilder von Theilen der Pupille, welche die spiegelnden Flächen am Augengrunde entwerfen, und es gelangt auch nur ein Theil des von ihnen regelmässig zurückgeworfenen Lichtes in die Pupille, ja es kann geschehen, dass der Beobachter von einem durch die spiegelnde Fläche entworfenen Bilde nur einen Theil oder selbst gar nichts sieht, wenn eben die von der Fläche reflectirten, das Bild erzeugenden Strahlen nur theilweise oder gar nicht aus der Pupille des untersuchten Auges heraus und in die Pupille des Beobachters eindringen können. Diese Verhältnisse bedürfen folglich einer allgemeinen Besprechung, bevor wir sie auf das Auge anwenden.

Es wäre in Fig. 24 p_1p_2 der Durchschnitt der Pupille in horizontaler Richtung, cp_1 jener Theil derselben, durch welchen Licht einfällt. Es ist dabei der Lichteinfall ähnlich dem in Fig. 16 dargestellten gedacht. R_2x wäre ein Stück einer concaven Fläche auf der Netzhautoberfläche, deren Krümmungsradius ox ist. Im Folgenden wollen wir uns wieder die Ungenauigkeit gestatten, die Pupille und nicht den Spiegel als das leuchtende Object anzusehen, was bei der im Verhältnis zu den Brennweiten der spiegelnden Flächen grossen Entfernnng der Pupille von der Retina wohl angeht.

Nehmen wir zuerst an, dass die ganze Pupille p_1p_2 das leuchtende Object für die spiegelnde Fläche wäre. x_1x ist die optische Axe des Auges, welche wir durch die Mitte der Pupille gehen lassen. Das Bild von p_1 muss auf

Fig. 24.

der durch den Krümmungsmittelpunkt der Fläche o gehenden Linie p_1oa liegen, aber auch gleichzeitig auf der Linie p_2x. Ein Strahl, der von p_1 kommt und auf x fällt, muss nämlich nach der Richtung xp_2 gebrochen werden, da ja die Linie xx_1 durch die Mitte von p_1p_2 geht. Folglich ist der Winkel p_1xx_1 gleich dem Winkel p_2xx_1. Das Bild von p_1 muss also dort sein, wo sich die Linien p_1oa und p_2x schneiden, also in f_2. Auf dieselbe Weise finden wir das Bild von p_2 in f_1, wobei wir die reflectirende Fläche uns von x weiter bis gegen R_1 verlängert denken müssen. So wäre also f_1f_2 das verkehrte von der spiegelnden Fläche entworfene Bild der ganzen Pupille.

In dem von uns supponirten Falle von Fig. 16 dringt aber das Licht bloss durch den Theil p_1c der Pupille. Offenbar ist das Bild von p_1c nur ein Theil des Bildes von p_1p_2. Wir finden diesen Theil, wenn wir von c den Richtungsstrahl c o i ziehen. f_2f_3 muss dann das verkehrte Bild von cp_1 sein.

Es fragt sich nun, wie die von der spiegelnden Fläche R_2x reflectirten im Bilde f_2f_3 sich vereinigenden Strahlen vor dem Bilde weiter verlaufen und ob sie aus der Pupille heraustreten können. Es ist R_2xf_2 der Strahlenkegel, der zu dem Punkte f_2 geht. Vor f_2 sind dann die Strahlen dieses Strahlenkegels zwischen f_2d und f_2p_2 enthalten. Ebenso ist R_2xf_3 der Strahlenkegel, der nach f_3 zustrebt, dessen Strahlen im weiteren Verlaufe vor f_3 zwischen f_3e und f_3g liegen.

Uns interessirt es hier natürlich vor allem, welcher Theil dieser von R_2x reflectirenden Lichtstrahlen vom Beobachter gesehen werden kann. Es möge nun cp_2 (ebenfalls in Analogie mit Fig. 16) der Theil der Pupille

sein, durch welchen Strahlen in das Spiegelloch gelangen. Um zu erfahren, welcher Theil des Strahlenkegels, der von f_2 ausgeht, noch nach p_2c kommt, ziehen wir einfach die Linie ch. Es ist dann cf_2p_2 der Strahlenkegel, der von f_2 kommend ins Spiegelloch tritt. Ebenso erreicht nicht der ganze von f_3 kommende Strahlenkegel cp_2, vielmehr nur der Theil cf_3g desselben das Spiegelloch.

In dieser Weise bin ich bei der Construction der Reflexion an den reflectirenden Flächen der Retina verfahren. Ich musste natürlich zu diesem Zwecke eine stärkere Vergrösserung nehmen. Es wurden die hier in Betracht kommenden Dimensionen in 100facher Vergrösserung aufgetragen. Die Entfernung der Retina von dem hinteren Brennpunkte des Auges wäre in 100facher Vergrösserung 192 *cm.* Einer Pupille von 3·5 *mm* entspricht eine Linie von 35 *cm.*

Ich habe nun am hinteren Ende der optischen Axe eine kleine nach vorn concave reflectirende Fläche gezeichnet, welche an der Seite eines Netzhautgefässes sich befindet. Der Krümmungsmittelpunkt dieser spiegeln-

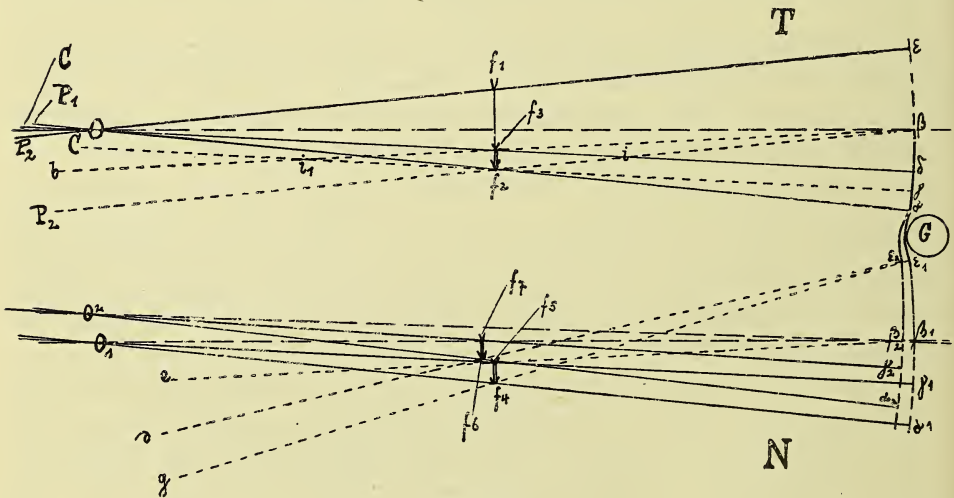


Fig. 25.

den Fläche soll in die optische Axe fallen. Die Fig. 25 stellt nur den hinteren Theil der in 100facher Vergrösserung angefertigten Zeichnung um $^1/_4$ verkleinert dar. Bezüglich des vorderen Theiles der Figur werden wir uns im Folgenden immer auf Fig. 16 berufen.

G ist der Querschnitt eines Netzhautgefässes, dessen Durchmesser in der Figur *) 7 *mm*, in Wirklichkeit also 0·07 *mm* ist. Neben dem Gefässe

*) Die im Folgenden angegebenen Maasse beziehen sich auf die in 100facher Vergrösserung angefertigte Zeichnung, von der eben Fig. 25 wieder eine Verkleinerung ist. In der Figur 25 ist übrigens bei der Verkleinerung ein Fehler unterlaufen, so dass die Bilder $f_1 f_2$, $f_4 f_5$ u. $f_6 f_7$ etwas zu weit vor der spiegelnden Fläche liegen.

ist die concave Fläche $\alpha\beta$, die mit dem Radius von 14 *cm* (α O) gezeichnet ist. Dieser Radius würde also im Auge einem Radius von 1·4 *mm* entsprechen. Da nun die Entfernung der Pupille von dieser Fläche in der Vergrösserung 192 *cm* beträgt, die Brennweite der spiegelnden Fläche 7 *cm* ist, ergibt die Rechnung nach der Formel $l_1 = \frac{lf}{l-f}$, dass das Bild der Pupille 72·6 *mm* (in Wirklichkeit 0·72 *mm*) vor der spiegelnden Fläche sich befinden muss. Dies würde einer Refractionsdifferenz von 2,25 D entsprechen.

Doch ist eben nur ein Theil der Pupille das leuchtende Object. In Fig. 16 ist dieser Theil der Pupille ein Streifen von 1·7 *mm* Breite neben dem temporalen Rande der Pupille, nämlich das Stück cp_1. Dieser Theil ist also, da die Fig. 16 in zweimaliger Vergrösserung dargestellt ist, im Auge 0·85 *mm* breit (in 100facher Vergrösserung also 85 *mm*). Von den Endpunkten des Durchschnittes des leuchtenden Theiles der Pupille von c und p_1 sind auch in Fig. 25 die Linien C O δ und P_1Oα gezogen. Diese Linien bilden die Richtungsstrahlen, auf ihnen müssen also auch die Bilder der Punkte c und p_1 aus Fig. 16 sich befinden. Ausserdem liegt das Bild von cp_1 aus Fig. 16, wie wir sehen, 72·6 *mm* vor der reflectirenden Fläche, dies ist in f_2f_3.

In Fig. 16 ist p_2c der Theil der Pupille, durch welchen Lichtstrahlen zum Spiegelloche l_1l_2 gelangen können. Durch diesen Theil müssen die von f_2f_3 kommenden Lichtstrahlen hindurchgehen, damit f_2f_3 vom Beobachter gesehen wird. Durch f_3 verläuft ein Strahl von c in Fig. 16, nämlich $Cf_3\delta$ in Fig. 25. Dieser Strahl geht also von f_3 auch wieder nach C zurück. Ausserdem geht von β ein Strahl durch f_3 nach b. Dieser Strahl trifft in seiner Verlängerung in den Bereich p_2c der Pupille in Fig. 16. In Fig. 25 liegen die Strahlen, die von f_3 kommen und vom Beobachter in seinem Auge aufgenommen werden können, zwischen f_3b und f_3C, sie bilden einen Strahlenkegel bf_3C.

Von p_2 in Fig. 16 geht ein Strahl durch f_2. Dieser ist in Fig. 25 durch P_2f_2 dargestellt, er geht hinter f_2 weiter nach β. Dass er nach β gehen muss, wurde schon bei Fig. 24 auseinandergesetzt. Von der brechenden Fläche, nämlich vom Punkte β derselben muss also auch ein Strahl zurück gegen P_2 — gegen den nasalen Pupillarrand verlaufen. Eine Linie von c in Figur 16 aus trifft, wenn sie durch f_2 in Fig. 25 gezogen wird, auf γ. Die Strahlen, die von f_2 kommend noch in das Auge des Beobachters dringen, bilden einen Strahlenkegel Cf_2P_2 — die punktirten Linien. (Die Buchstaben C, P_1, P_2 kommen in dieser Figur mehrmals vor, damit man gleich erkenne, dass die Linien, an deren Endpunkten sie sich befinden, von den Punkten c_1,p_1,p_2 in Fig. 16 ausgehen. Eine Verwechslung dieser

Linien unter einander ist nicht möglich, da auch andere Punkte im weiteren Verlaufe der einzelnen Linien angegeben sind).

Durch die vorstehende Auseinandersetzung wäre also erklärt, dass man die Reflexstreifen neben den Gefässen oft bei Einstellung auf eine vor der Netzhaut gelegene Ebene sehen kann. Wir brauchen folglich zur Erklärung dieser Thatsache durchaus keine Spalten im Glaskörper anzunehmen, wie dies Weiss gethan hat. Dass die hiebei zwischen der Oberfläche der Retina und den Reflexen gefundene Refractionsdifferenz sehr wechseln kann, geht daraus hervor, dass die Krümmungshalbmesser der einzelnen spiegelnden Flächen sehr verschieden sind. Je grösser dieser Krümmungsradius, desto weiter wird das Bild vor der Netzhaut liegen, umgekehrt ist es bei kürzerem Krümmungsradius näher an der Netzhaut. Bei einzelnen Reflexen ist die Refractionsdifferenz kaum nachweisbar, bei anderen wieder sehr ansehnlich. Dass die Reflexstreifen oft mit mehreren verschiedenen Gläsern deutlich zu sehen sind, werden wir wohl verstehen, wenn wir uns gegenwärtig halten, dass die spiegelnden Flächen durchaus keine regelmässig sphärische Krümmung haben, folglich auch nicht Bilder liefern können, die in allen ihren Theilen in derselben Ebene liegen.

Nun handelt es sich darum, ob die übrigen Beschaffenheiten der Reflexe aus den verkehrten Bildern des leuchtenden Theiles der Pupille sich deuten lassen. Die Reflexstreifen neben den Gefässen zeigen, wie eben erwähnt wurde, eine scharfe Begrenzung auf der Seite gegen das Gefäss zu, während sie nach der anderen Seite hin verschwommen aussehen. Nun ist der von den Strahlen, welche gegen die reflectirende Fläche hingehen, durchsetzte Theil der Pupille in unserem Falle eine Sichel, die dem temporalen Rande der Pupille anliegt und deren Spitzen nasalwärts sehen. Die concave spiegelnde Fläche neben dem Gefässe ist sozusagen ein Concavcylinderspiegel, sowie die vordere Fläche der Blutsäule in den Gefässen ein Convexcylinderspiegel ist. Es entstehen also ebenso wie dort sehr verzerrte Bilder des Theiles der Pupille, der für die spiegelnde Fläche das leuchtende Object ist. Wir können in dieser Beziehung auf das verweisen, was oben in Bezug auf die Reflexe auf den Blutgefässen gesagt wurde (siehe Seite 85). Der Unterschied ist nur, dass die Bilder verkehrt sind. Der Rand des Bildes gegen das Gefäss zu, also f_2 ist ziemlich scharf begrenzt, während der andere verschwommen ist. Dies hat seinen Grund darin, dass wir zwischen f_2 und dem Gefässe überhaupt keine Reflexe von der inneren Netzhautoberfläche sehen, während von den von β mehr temporalwärts liegenden Theilen der inneren Netzhautoberfläche wir auch einen Reflex bekommen, wie weiter unten dargelegt werden soll. Da ferner in Wirklichkeit die Fläche $\alpha\beta$ nicht genau eine sphärische ist, sondern mehr allmälig bei β in die übrige Wölbung der inneren Retinaloberfläche übergeht, so werden an diesem Uebergange Flächenstücke von anderer,

schwächerer Krümmung liegen, welche ebenfalls einen Reflex geben, der für den Beobachter sichtbar ist, aber weniger intensiv erscheinen muss, als jener von der stärker gekrümmten concaven Fläche, immerhin noch stärker als von der allgemeinen Wölbung der inneren Netzhautoberfläche. Daraus erklärt sich, dass die Reflexstreifen neben den Gefässen nahe ihrem, dem Gefässe zugewendeten Rande auch heller erscheinen.

Es wurde gesagt, dass die Reflexstreifen bald nur an der einen Seite der Gefässe, bald an beiden Seiten zu finden sind. In Fig. 25 ist auf der nasalen Seite des Gefässes G noch der Durchschnitt einer zweiten concaven Fläche $\beta_1 \varepsilon_1$ gezeichnet. Sie ist durch ein kurzes convexes Stück $\alpha \varepsilon_1$ mit der Fläche $\alpha \beta$ verbunden. Dieses convexe Stück liegt über dem Gefässe. O_1 ist der Krümmungsmittelpunkt der zweiten concaven Fläche. Er liegt über β_1 in der Art, dass die Linien $O_1 \beta_1$ und $O \beta$ parallel sind. Durch Verlängerung dieser Fläche über β_1 hinaus bis α_1, dann durch das Ziehen der Linien $O_1 \alpha_1$ und $O_1 \gamma_1$ erhalten wir in gleicher Weise wie früher $f_2 f_3$, jetzt $f_4 f_5$ als Bild des Stückes der Pupille $c p_1$ in Fig. 16.

Um zu wissen, ob und wie viel von den von $f_4 f_5$ ausgehenden Strahlen vom Beobachter durch das Spiegelloch aufgefangen wird, wurden die Linien $\beta_1 f_5 e$ und $\varepsilon_1 f_4 g$ als die äussersten das reflectirte Strahlenbündel begrenzenden Strahlen gezogen und dann weiter hinaus bis zu der den Durchschnitt der Pupillarebene darstellenden Linie verlängert, welche Linie 192 *cm* vor β und senkrecht auf die Verlängerung von βO sich befindet. Es zeigte sich, dass diese Linien, welche die von f_4 und f_5, also den Endpunkten des Bildes ausgehenden Strahlenkegel begrenzen, nicht mehr in das dem Stücke $c p_2$ in Fig. 16 entsprechende Stück der Pupille eindringen. Es wird also bei dieser Stellung der reflectirenden Fläche der Beobachter gar keinen oder nur eine Andeutung des Reflexstreifen sehen. Sollte der Krümmungsmittelpunkt O_1 noch weiter nasalwärts liegen, so dass die von ihm nach β_1 gezogene Linie mit $O \beta$ in der Richtung gegen das Gefäss G convergiren würde, so könnte natürlich nur desto weniger Licht, das von der spiegelnden Fläche reflectirt wird, so in die Pupille gelangen, dass es noch von dem Spiegelloche aufgenommen wird.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn die Krümmungsradien, die zu den vom Gefässe entfernten Endpunkten der concaven Fläche gehen, gegen das Gefäss zu convergiren. In Fig. 25 ist O_2 derart gelegen, dass der Radius der Fläche $\beta_2 \varepsilon_2$ (seine Länge beträgt ebenfalls 14 *cm*), zugleich in der Richtung des Krümmungsradius der inneren Oberfläche der Netzhaut liegt. Als der Letztere wurde eine Distanz von 11·4 *mm* (in der 100fachen Vergrösserung also 114 *cm*) angenommen, was eigentlich der Krümmung der äusseren Oberfläche der Netzhaut entspricht — eine Ungenauigkeit, welche bei der wechselnden Länge der Augenaxe wohl gestattet ist.

Das von $\beta_2 \varepsilon_2$ entworfene Bild des sichelförmigen Theiles der Pupille wurde auf die früher angegebene Weise bestimmt, wobei die reflectirende Fläche bis α_2 verlängert gedacht wird. Dieses Bild ist $f_6 f_7$. Von β_2 und ε_2 zieht man analog dem Vorgange bei der spiegelnden Fläche $\beta_1 \varepsilon_1$ die Linien $\beta_2 f_7 O_1$ und $\varepsilon_2 f_6 d$. Bei der Verlängerung dieser Linien gegen die ebenfalls in 100 facher Vergrösserung gezeichnete Pupille ergibt sich, dass die von f_6 und f_7 ausgehenden Strahlenkegel noch jenen Theil der Pupille ($p_2 c$ in Fig. 16) durchsetzen, welchen die Strahlen passiren müssen, um vom Spiegelloche aufgenommen zu werden. Der Beobachter wird also $f_6 f_7$ sehen können. In diesem Falle, wo also $\alpha \beta$ und $\beta_2 \varepsilon_2$ die neben dem Gefässe liegenden Flächen sind, erscheinen dem Untersucher zu beiden Seiten des Gefässes Reflexstreifen.

Blickt man im aufrechten Bilde in einer solchen Richtung ins Auge, dass das leuchtende Object für $\alpha \beta$ ein ringförmiger Theil der Pupille ist, dann sind die Bilder, die $\alpha \beta$ entwirft, sehr stark in die Länge gezogene, oder eigentlich richtiger gesagt, von den Seiten zusammengedrückte Ringe. Es müsste der Reflexstreifen also ebenso wie auf den Flüssigkeitssäulen bei den Versuchen mit dem künstlichen Auge verdoppelt erscheinen. Die äusseren Begrenzungen dieser beiden Streifen werden in f_2 und f_1 liegen. Von dem gegen f_1 gelegenen Streifen würde der Beobachter nur einige Lichtstrahlen in das Spiegelloch bekommen können, weil die reflectirende Fläche seitlich hinter dem von ihr gelieferten Bilde sich befindet und sozusagen nur die eine Hälfte eines Spiegels darstellt. Die von dieser Fläche ausgehenden und zu dem bei f_1 liegenden streifenförmigen Bilde zusammentretenden Strahlen werden in ihrem weiteren Verlaufe nur zum geringsten Theile zu jener Partie der Pupille gelangen, durch welche sie in das Spiegelloch einfallen können. Zugleich würde $f_1 f_2$ in der Richtung der optischen Axe, also in der Richtung von $O \beta$ projicirt, f_2 infolge dessen nahe neben dem Gefässe erscheinen.

Bewegt der Beobachter seinen Kopf sammt dem Spiegel nasalwärts, so kann sich das Bild selbst nicht verschieben, es wird nur seine Form und Beschaffenheit ändern. f_2 wird immer an derselben Stelle bleiben; da aber jetzt das Bild eine verzogene Sichel darstellt, deren Concavität nach der temporalen Seite hin sieht, so wird das Bild nicht mehr bis f_1 gehen, der Reflexstreifen aber breiter erscheinen, da der breite Theil der Sichel in der Pupille breiter ist als der Ring.

Der Untersucher sieht bei der Stellung des Spiegels zum Auge wie in Fig. 16 von der nasalen Seite her auf das Gefäss. $f_2 f_3$ befindet sich aber vor der Ebene der Netzhautoberfläche. Es muss also eine parallaktische Verschiebung des Bildes $f_2 f_3$ gegen das Gefäss G stattfinden u. zw. im entgegengesetzten Sinne als sich der Beobachter mit seinem Kopfe bewegt hat. Je mehr dieser in unserem Falle sich gegen N verschiebt, desto mehr

scheint $f_2 f_3$ vom Gefässe G gegen T zu rücken. Wir finden somit die oben beschriebene Erscheinung ganz erklärlich, dass der Abstand des Reflexstreifens von den Gefässen bei seitlichen Verschiebungen des Spiegels zunimmt. Es bezieht sich dies aber nur auf jenen Reflexstreifen, der auf der, der Richtung der Verschiebung abgewendeten Seite des Gefässes liegt. Der andere Reflexstreifen ($f_6 f_7$), wenn ein solcher überhaupt zu sehen ist, nähert sich scheinbar dem Gefässe. Blickt man endlich so schief auf das Gefäss, dass das von der concaven Fläche gelieferte Bild anscheinend vor dem Gefäss liegen müsste, so kann dieses Bild nicht mehr gesehen werden, da es nicht mehr vor der betreffenden spiegelnden Fläche liegt. Der helle Schimmer, der sich dann über das Gefäss breitet und unter dem der Reflexstreifen auf dem Gefäss kaum mehr sichtbar ist, rührt offenbar von der convexen Oberfläche der Retina über dem Gefäss ($\alpha \varepsilon_1$ Fig. 25) her. Man konnte ihn früher deshalb nicht wahrnehmen, weil bei geradem Einblick in das Auge das von dieser Fläche entworfene Bild das verzerrte Bild eines Ringes ist, also 2 helle Streifen, durch einen dunklen Zwischenraum getrennt. Da nun die spiegelnde Fläche in der Richtung senkrecht auf den Verlauf des Gefässes eine sehr geringe Ausdehnung hat, so liegt unter diesen Umständen für den Beobachter blos der dunkle Zwischenraum hinter der spiegelnden Fläche. Es kann also auch nichts von den 2 hellen Streifen gesehen werden. Verschiebt man aber das Spiegelloch zur Seite, so wird der Ring an der der Bewegung entgegengesetzten Seite immer breiter und schliesslich entsteht als Reflexbild ein breiter Streifen, der dann beim schiefen Einblick auf die schmale spiegelnde Fläche sehr wohl hinter derselben liegen kann.

Dreht man den Spiegel bloss, ohne seine Lage vor dem Auge zu verändern, so kann höchstens ein leichter Wechsel in der Gestalt der Reflexe und in der Intensität einzelner Theile derselben wahrnehmbar werden, ihre Lagerung zu den Netzhautgefässen wird aber nicht alterirt, indem die Stellung der Gesichtslinie des Beobachters zu ihnen keine Modification erleidet.

Bei der vorstehenden Auseinandersetzung sind wir von einem speciellen Falle ausgegangen. Es wurde nämlich die Anwendung eines Concavspiegels von 18 *cm* Brennweite vorausgesetzt. Es wären nun noch die Veränderungen der Reflexe beim Gebrauche anderer Spiegel oder bei anderem Strahleneinfalle zu besprechen.

Nimmt man einen Spiegel von 8 *cm* Brennweite bei einem Abstande desselben von 30 *cm* von der Lampe oder wirft man im aufrechten Bilde parallele Strahlenbündel auf die Retina, so bekommt man, wie oben beschrieben wurde, an vielen Stellen grössere flächenhafte Reflexe zwischen den Netzhautgefässen. Zunächst könnte man daran denken, dass ein anderer Strahleneinfall die Ursache ist, warum man diese ausgebreiteteren

Reflexe sieht. Der Unterschied zwischen den Verhältnissen des Strahleneinfalles bei Gebrauch eines Spiegels von 18 *cm* Focaldistanz und eines solchen von 8 *cm* Brennweite liegt darin, dass der Schattenkegel in der Pupille bei dem stärkeren Spiegel einen bedeutend geringeren Durchmesser hat (siehe Seite 36). Bei der Anordnung, durch welche parallele Strahlen auf die Retina geworfen werden, erreicht der Schattenkegel die Pupille gar nicht (siehe Seite 42). Um zu wissen, in welcher Weise dieser Umstand die Reflexion der Lichtstrahlen von der Retina beeinflussen kann, müssen wir vorerst die Eigenschaften der reflectirenden Fläche erörtern.

Grössere Strecken zwischen den Netzhautgefässen, auf welche die Vorwölbung der Limitans interna durch die Gefässe keinen Einfluss mehr hat, werden annähernd die Krümmung haben, welche die ganze innere Netzhautoberfläche zeigt. Sehen wir davon ab, dass die Netzhaut von der Papille gegen die Peripherie an Dicke abnimmt, so können wir den Krümmungshalbmesser der inneren Retinaloberfläche gleichsetzen jenem der äusseren. Dieser ist aber die halbe Länge der Augenaxe, also: 11·4 *mm*. Es würde also die Retina einen Hohlspiegel von 11·4 *mm* Krümmungsradius darstellen. Diesen Radius können wir nahezu für jene Stellen supponiren, wo sich in einem grösseren Bereiche keine Netzhautgefässe von bedeutenderem Durchmesser vorfinden.

Wie verhält sich nun die Reflexion des Lichtes an diesen Partien der Retina? Die Pupille ist natürlich wieder das leuchtende Object. Die Brennweite des Hohlspiegels, den die Retina bei einem Krümmungshalbmesser von 11·4 *mm* bildet, ist 5·7 *mm*; der Abstand der Pupille, also des leuchtenden Gegenstandes von der Retina — 19·2 *mm*. Es lässt sich leicht berechnen, wo das Bild der Pupille liegen muss. Es ergibt sich, dass das Bild der Pupille 8·1 *mm* vor der Retina im Glaskörper entworfen wird. Die Strahlen, die von einem so weit vorne liegenden Bilde ausgehen, müssen nach dem Austritte aus dem Auge sehr stark divergiren, so als ob sie von dem Fundus eines sehr stark hypermetropischen Auges kämen. Die Verkürzung der Augenaxe um 8 *mm* würde ja einer Hypermetropie von 24 D entsprechen. Es ist also klar, dass von den die Pupille verlassenden Strahlenbündeln nur verhältnissmässig wenig von dem Spiegelloche wird aufgefangen werden können. (Lassen wir die Strahlen von dem im vorderen Brennpunkte des Auges liegenden Spiegel ausgehen, so liegt das Bild des betreffenden Theiles des Spiegels in der Brennebene der reflectirenden Fläche, seine Lage im Glaskörper entspricht einer Axenhypermetropie von etwa 21 D.)

Dazu kommt, dass auch die verkehrten Bilder der Pupille im Verhältnis zu den spiegelnden Flächen sehr gross sind. Für eine Pupillenweite von 3·5 *mm* ist die Grösse des von einer concaven spiegelnden Fläche von 5·7 *mm* Brennweite entworfenen Bildes der Pupille 1·4 *mm*. Die Ausdehnung

jener Stellen an der vorderen Fläche der Netzhaut, welche die in Rede stehende Krümmung haben, erreicht aber infolge der zahlreichen die Wölbung beeinflussenden Gefässe wohl niemals die Grösse des von der spiegelnden Fläche gelieferten Bildes der Pupille. Dadurch muss dieses Bild sehr lichtschwach werden und kann übrigens nur im Bereiche der spiegelnden Fläche gesehen werden.

Wir haben im I. Theile gefunden, dass die auf die Retina auffallende Lichtmenge bei dem Spiegel von 8 *cm* Brennweite und 30 *cm* Abstand der Lampe von ihm, ebenso bei parallelem Strahleneinfalle grösser ist, als wenn wir mit dem Planspiegel oder einem Concavspiegel von 18 *cm* Focaldistanz bei der gleichen Entfernung dieser Spiegel von der Lichtquelle untersuchen. Es muss also auch viel mehr Licht regelmässig reflectirt und vom Beobachter wahrgenommen werden können.

Gleichzeitig erscheinen also auch die Reflexstreifen, die von den concaven Flächen neben den Gefässen erzeugt werden, heller und glänzender und fliessen mit dem Reflex, der von den grösseren zwischen den Gefässen liegenden Flächen kommt, zusammen. Nur unmittelbar neben den Gefässen müssen dunkle Streifen bleiben, weil man von da eben keinen Reflex bekommen kann.

Nehmen wir nun den Helmholtz'schen Spiegel. Hier ist die ganze Pupille erleuchtet. Es sollten also die Reflexstreifen neben den Gefässen (soweit dies die Breite der reflectirenden Flächen gestattet) breiter erscheinen, indem das leuchtende Object für die spiegelnden Flächen immer die Form einer Scheibe von der Grösse der Pupille hat. Die Reflexstreifen neben den Gefässen müssten also breiter erscheinen und auch die grösseren flächenhaften Reflexe um so leichter sichtbar werden, da die Spiegelbilder ununterbrochene helle Flächen darstellen, so dass nie das Bild des Spiegelloches vor eine der spiegelnden Flächen fallen kann, wodurch der Reflex für den Beobachter unsichtbar wird. Dennoch sehen wir mit dem Helmholtz'schen Spiegel keine Reflexe. Der Grund dafür kann nur in der zu schwachen Beleuchtung, die wir mit diesem Spiegel erhalten, liegen.

Nachdem bisher nur die Methode des aufrechten Bildes und die Entstehung der Netzhautreflexe dabei besprochen wurde, gehen wir zur Methode des verkehrten Bildes über. Es ist leicht verständlich, dass hier immer die Reflexstreifen neben den Gefässen sehr breit und verschwommen aussehen. Es ist ja bei der Untersuchung im verkehrten Bilde immer fast die ganze Pupille das leuchtende Object. Das von der Convexlinse gelieferte Bild des Spiegelloches ist sehr klein. Wohl werden auch die spiegelnden Flächen ein Bild dieses Bildes des Spiegelloches

wieder entwerfen. Nur bei einer ganz bestimmten Richtung der Gesichtslinie des Beobachters zu den kleinen spiegelnden Flächen wird aber dieses sehr kleine Bild für den Beobachter vor der spiegelnden Fläche liegen, so dass es von ihm gesehen wird.

Die flächenhaften Reflexe zwischen den Netzhautgefässen entstehen nur dann, wenn wir parallele Strahlen bei der Untersuchung im verkehrten Bilde auf die Retina werfen. Es geht daraus hervor, dass es hier, wie bei der Untersuchung im aufrechten Bilde sichtlich die stärkere Beleuchtung ist, die das Auftreten dieser Reflexe hervorruft und nicht ein anderer Lichteinfall.

Was die Beweglichkeit der Reflexe bei einer Drehung oder Bewegung des Spiegels betrifft, so kann man leicht verstehen, dass bei einer blossen Drehung des Spiegels ohne Ortsveränderung desselben keine Bewegung der Reflexe auftritt. Die Richtung der Gesichtslinie des Untersuchers bleibt ja dieselbe. Die Reflexe werden höchstens ihre Form etwas ändern. Es werden, wie wir auf Seite 23 dargelegt haben, gewisse Theile der Pupille dunkel bleiben, es ist dann nicht mehr die ganze Pupille, sondern nur ein Theil der Pupille das leuchtende Object für die reflectirenden Flächen. Die näheren Details kann man sich leicht nach dem am soeben citirten Orte Gesagten ableiten.

Verschiebt man die Linse seitlich (Fig. 7), so wandert der Lichtkegel, der das Auge trifft, in derselben Richtung, in der man die Linse verschoben hat. Es wird also bei einer Verschiebung der Linse temporalwärts an der nasalen Seite der Pupille ein etwa sichelförmiger Theil der Pupille dunkel bleiben. In dem verkehrten Bilde der Pupille, welches von den spiegelnden Flächen entworfen wird, sobald die ganze Pupille erleuchtet ist, wird jetzt ein Theil u. zw. ein gegen die Schläfenseite liegender fehlen, da wir aber ein verkehrtes Bild des Reflexbildes vor uns haben, so wird es den Eindruck machen, als ob sich der Reflex gegen die Schläfenseite verschoben hätte. Ausserdem liegen ja die verkehrten Bilder der Pupille vor der Netzhaut. Sie müssen also die bekannte parallaktische Verschiebung zeigen, wie man sie bei Niveaudifferenzen im verkehrten Bilde sieht, d. h. sie müssen sich anscheinend im Sinne der Verschiebung der Linse bewegen.

Blickt man in der Richtung von der temporalen Seite ins Auge (Fig. 6), so kann es vorkommen, dass ein nasaler Theil der Pupille nicht von Licht durchsetzt wird. Verschiebt man dann den Spiegel und gleichzeitig in einer entsprechenden Excursion die Linse, so dass man schliesslich in der Richtung der optischen Axe ins Auge sieht, so nimmt die Ausdehnung des Spiegelbildes des beleuchteten Pupillentheiles in dem Maasse von der Nasenseite gegen die Schläfenseite hin zu, als das Licht in der Pupille von der Schläfenseite nasalwärts rückt, bis endlich die

ganze Pupille von Licht erfüllt ist. Wir sehen aber das Bild des Augenhintergrundes verkehrt. Die Ausbreitung des Spiegelbildes gegen die temporale Seite wird uns als eine Verschiebung des Spiegelbildes gegen die Nasenseite erscheinen. Dazu kommt weiter noch die parallaktische Verschiebung. Liegt ein von einer spiegelnden Fläche der Netzhaut entworfenes verkehrtes Bild der Pupille genau vor dem hinteren Ende der optischen Axe, so wird es beim Anblicke von der Schläfenseite her vor einem nasalwärts von dem hinteren Ende der optischen Axe befindlichen Punkte zu liegen scheinen. Dagegen muss es beim Anblicke in der Richtung der optischen Axe in seiner wirklichen Lage vor dem hinteren Ende der optischen Axe gesehen werden. Bei der gleichzeitigen Verschiebung des Kopfes, des Spiegels und der Linse in der Richtung von der Schläfenseite des untersuchten Auges gegen die Nasenseite hin, verschiebt sich dieses Spiegelbild der Pupille scheinbar in derselben Richtung. Diese Verschiebung ist, wie wir schon oben erwähnten, meist nur undeutlich zur Anschauung zu bringen. Erweitert man nämlich die Pupille, so sind die Reflexe überhaupt nicht sichtbar. Bei enger Pupille ist aber immer die ganze Pupille beleuchtet, so dass die soeben entwickelte in der theilweisen Erleuchtung der Pupille liegende Ursache für die Verschiebung der Reflexe bei enger Pupille nicht zur Geltung kommen kann. Auch die Aenderung der Lage der Gesichtslinie des Beobachters zu den Reflexbildern kann bei enger Pupille nicht bedeutend sein. Es muss ferner die Verschiebung der Linse genau der Verschiebung des Spiegels und des Kopfes entsprechen. Bleibt die Verschiebung der Linse gegen die Verschiebung des Spiegels zurück, so kann dadurch wieder eine Bewegung der Reflexe in der Richtung entstehen, wie wir sie im Vorigen bei alleiniger Verschiebung der Linse kennen gelernt haben. Dadurch kann aber die Bewegung der Reflexe aufgehoben oder selbst in die entgegengesetzte Richtung verwandelt werden.

Es wäre nun die Erklärung für die Thatsache zu geben, dass die Reflexe sowohl bei der Untersuchung im aufrechten als auch im verkehrten Bild verschwinden oder nahezu verschwinden, wenn die Pupille durch ein Mydriaticum maximal erweitert ist. Es ist kein Zweifel, dass bei weiter Pupille mehr Licht ins Auge gelangt als bei enger. Es muss also auch die diffus vom Augenhintergrunde reflectirte Lichtmenge bei weiter Pupille eine grössere sein. Für die Fälle, wo ein Bild der Lichtquelle vor dem Auge entsteht, können wir bezüglich der Beleuchtung der Netzhaut auf die von Helmholtz gegebene Formel: $i = \frac{p}{p} H$ (siehe Seite 33) recurriren.

Das regelmässig reflectirte Licht verhält sich aber nicht in derselben Weise. Setzen wir den Fall, es würde durch ein Loch A in einem Schirme Licht auf einen Hohlspiegel fallen. Es entsteht bei entspre-

chendem Abstande des Schirmes von dem Spiegel ein verkehrtes Bild des Loches vor diesem. Das von diesem verkehrten Bilde ausgehende Licht würde dann durch ein Diaphragma B von bestimmter Grösse geleitet. Es soll nun das vom Spiegel entworfene Bild dadurch lichtstärker gemacht werden, dass die Oeffnung A in dem Schirme vergrössert wird. Dadurch wird das verkehrte Bild von A in der That lichtstärker, aber auch grösser. Behält nun B sein Grösse unverändert bei, so ist zunächst nicht selbstverständlich, dass von dem lichtstärkeren verkehrten Bilde auch mehr Licht durch B hindurchgeht. Das verkehrte Bild ist ja grösser geworden, der Hohlspiegel hat aber seine Grösse nicht geändert. Es muss also erst untersucht werden, ob von dem lichtstärkeren und grösseren Spiegelbilde auch mehr Licht nach B gelangt als früher von dem kleineren Bilde.

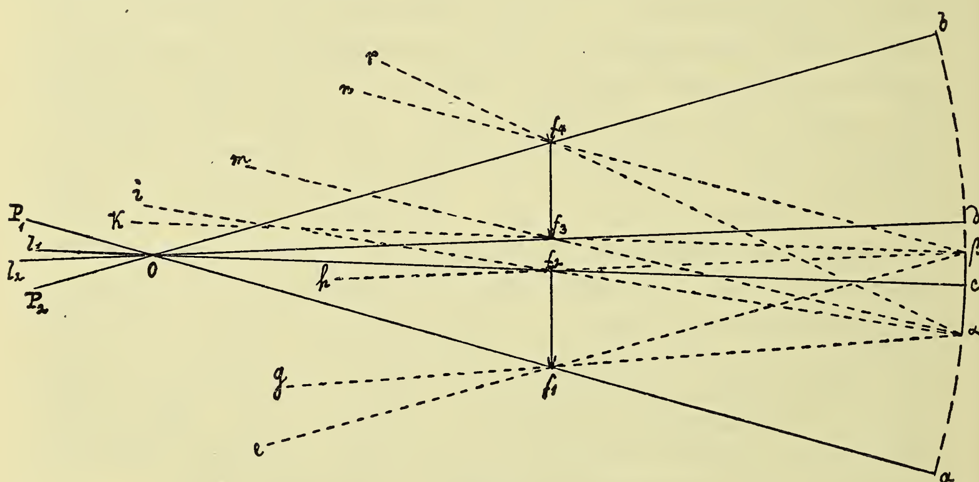


Fig. 26.

Fig. 26 stellt nun wieder den hinteren Theil einer in 100 facher Vergrösserung gezeichneten Figur (um $^1/_4$ verkleinert) dar, wo am hinteren Ende der optischen Axe eine concave Fläche $\alpha\,\beta$ von dem gleichen Krümmungsradius (14 *cm*) wie in Fig. 25 sich befindet. Die Grösse der Pupille wurde aber jetzt mit 8 *mm* (in der Vergrösserung 80 *cm*) angenommen. Für die Untersuchung im aufrechten Bilde wurde die Mitte des Spiegelloches auf der optichen Axe des Auges gedacht. Da die Fläche $\alpha\,\beta$ sehr klein ist, so bildet ein ringförmiger Theil der Pupille das leuchtende Object. Wir finden die Breite dieses Ringes, wenn wir, wie in Fig. 11 oder 13, von den Rändern des Spiegelloches zur optischen Axe parallele Linien bis zur Pupille ziehen. Der centrale Theil der Pupille, durch den kein Licht nach $\alpha\,\beta$ gelangt, hat also ebenso wie das Spiegelloch den Durchmesser von 3 *mm*. Bezeichnen wir die Punkte, wo jene zur optischen Axe parallelen Linien die Pupillar-

ebene treffen, mit l_1 und l_2, so erhalten wir das Bild des ringförmigen Antheiles der Pupille, welches von α β entworfen wird, auf folgende Weise: Wir ziehen die Richtungsstrahlen von den Rändern der erweiterten Pupille P_1 und P_2 durch den Krümmungsmittelpunkt O. Diese Strahlen treffen in a und b die Verlängerung von α β, ebenso legen wir zwei Gerade durch l_1 und l_2 einerseits und O andererseits. Diese Linien treffen α β (respective dessen Verlängerung) in c und d und sind in der Figur mit β l_1Oc und l_2Od bezeichnet.

Das verkehrte Bild des Ringes in der Pupille liegt natürlich eben so weit vor α β wie in Fig. 25. Es ist im Durchschnitte durch die Linien f_1f_2 und f_3f_4 dargestellt. Werden von α und β gerade Linien durch die Endpunkte f_1, f_2, f_3, und f_4 dieses Bildes gelegt, so haben wir damit die Richtung der Strahlen, welche von dem Bilde ausgehen, bestimmt. Werden diese Linien (f_1e, f_1g, f_2h, f_2i, f_3k, f_3m, f_4n, f_4r) von den Endpunkten f_1, f_2, f_3 und f_4 nach vorne bis zur Pupille verlängert, so kann man finden, welche von den Strahlen in das Spiegelloch gelangen können. Solche Strahlen müssen dann durch den Theil l_1 l_2 der Pupille gehen.

Es zeigt sich, dass von den Endpunkten f_1 und f_4 des Bildes gar keine Strahlen in das Spiegelloch treten. Erst von den mehr gegen f_2 und f_3 liegenden Theilen des Bildes der Pupille werden Strahlen vom Spiegelloche aufgefangen. Das Spiegelbild kann eben auch nur im Bereiche der spiegelnden Fläche gesehen werden.

Blicken wir auf die in Fig. 25. gegebene Construction für eine enge Pupille, so ist es klar, dass von dem dann bedeutend kleineren Bilde relativ mehr Lichtstrahlen so reflectirt werden, dass sie das Spiegelloch passiren. Das bei weiter Pupille allerdings lichtstärkere Bild f_1—f_4 in Fig. 26 ist eben grösser und da die reflectirende Fläche α β nur klein ist, wird das Licht, das von α β reflectirt und zur Bildung von f_1—f_4 verwendet wird, sehr stark diffundirt und es gelangt nur verhältnismässig wenig davon so aus dem Auge heraus, dass es von dem Spiegelloche aufgenommen werden kann.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Untersuchung im verkehrten Bilde. Freilich wird dabei nahezu alles Licht, das aus dem verkehrten Pupillenbilde stammend aus der Pupille heraustritt, durch die Convexlinse in ihrem vorderen Brennpunkte gesammelt. Es ist aber nicht einerlei, ob das aus der Pupille des untersuchten Auges hervordringende Licht nur den centralen Theil der Convexlinse — wie bei enger Pupille — oder einen grösseren Bereich der Linse, — wie bei weiter Pupille trifft. Im ersteren Falle werden die in der vorderen Brennebene der Linse sich überkreuzenden Strahlen nach dieser Ueberkreuzung nicht sehr stark divergiren, so dass eine beträchtliche Menge von ihnen das Spiegelloch erreicht. Im zweiten Falle aber ist die Divergenz der Strahlen vor der

vorderen Brennebene der Convexlinse so bedeutend, dass nur verhältnismässig wenig davon noch in das Spiegelloch und von da in die Pupille des Beobachters treten kann.

Aus diesem Verhalten der Lichtstrahlen im aufrechten und verkehrten Bilde erklärt sich die Erscheinung, dass die Netzhautreflexe bei erweiterter Pupille ganz oder fast ganz verschwinden, sehr leicht. Bei beiden Untersuchungsmethoden kommt aber noch ein anderer wichtiger Umstand hinzu. Bei weiter Pupille erscheint uns nämlich der Augenhintergrund, vor dem die Reflexe sonst gesehen werden, durch diffus reflectirtes Licht sehr hell beleuchtet. Dies bewirkt, dass nun die Netzhautreflexe sich, auch abgesehen von dem veränderten Strahlenverlaufe des regelmässig reflectirten Lichtes, sehr wenig von dem hellen Hintergrunde abheben.

Die übrigen so wechselnden Formen der Reflexe, die man sonst noch, nicht nur neben den Gefässen am Augenhintergrunde bei jungen Leuten sehen kann und die das mehrfach erwähnte Aussehen des Moiréestoffes bieten, sind sämmtlich verkehrte Bilder derjenigen Theile der Pupille, die für die jeweilige spiegelnde Fläche das leuchtende Object sind. Diese Theile der Pupille sind allerdings immer Ringe oder Sicheln (wir brauchen ja hier nur von den durchbohrten Spiegeln zu sprechen), doch wird es bei der Grösse und Unregelmässigkeit der spiegelnden Oberflächen nicht Wunder nehmen, dass die von ihnen gelieferten Bilder oft sehr stark verzerrt sind. Jeder, der sich einmal in den Spiegeln betrachtet hat, die in Schaubuden, in sogenannten »Lachcabinets« aufgestellt sind, wird dies verstehen.

Es fragt sich nun, warum die geschilderten Reflexe so häufig bei Emmetropie und besonders ausgeprägt bei Hypermetropie gefunden werden, während sie bei myopischen Augen fast immer nur sehr gering entwickelt sind, meist sogar ganz fehlen.

Wir müssen zu diesem Behufe an das erinnern, was im I. Theile bezüglich der Aenderung des Lichteinfalles und der Lichtmenge bei Ametropie im aufrechten und im verkehrten Bilde gesagt wurde. Wir können dies folgendermassen zusammenfassen: Bei Myopie sind die einzelnen Netzhautstellen innerhalb des Flammenbildes weniger stark beleuchtet als bei Hypermetropie. Im aufrechten Bilde kommt noch dazu, dass die Punkte in der Nähe des hinteren Endes der Axe, in der wir ins Auge hineinsehen, bei Anwendung eines durchbohrten Spiegels bei Myopie infolge der Divergenz der von den Rändern des Spiegelloches kommenden Strahlen besonders schwach erleuchtet werden. Das Umgekehrte ist bei Hypermetropie der Fall.

Von ganz besonderer Wichtigkeit aber erscheint die Wölbung der Netzhaut bei den verschiedenen Arten der Axenametropie. Bei Myopie

hat die Netzhaut infolge der Vergrösserung des Bulbus einen grösseren Krümmungsradius. Dies ist gerade am hinteren Abschnitte des Auges der Fall eben dort, wo im Bereiche des Verlaufes der grösseren Netzhautgefässe die meisten Netzhautreflexe sonst sichtbar sind. Auf Seite 129 haben wir aber gesehen, dass dann mehr Reflexe dem Beobachter wahrnehmbar werden, wenn die Krümmungsradien der concaven reflectirenden Flächen, welche zu den Endpunkten der Flächen, dort wo sie in die Wölbung der gesammten Netzhaut übergehen, gezogen werden, nach vorn zu convergiren. Je kürzer aber der Krümmungsradius der ganzen inneren Netzhautoberfläche, desto leichter wird dies für mehrere derartige nebeneinanderliegende spiegelnde Flächen der Fall sein. Bei Hypermetropie wären also die Verhältnisse für die Sichtbarkeit der durch Spiegelung an der inneren Netzhautoberfläche entstandenen Bilder günstiger als bei Myopie.

Dass es nicht allein der Lichteinfall sein kann, welcher die stärkeren Reflexe bei Hypermetropie bedingt, dass der Grund dafür vielmehr vorwiegend in diesen eben erwähnten Verhältnissen liegen muss, beweist der Befund bei aphakischen Augen, die eine Hypermetropie von 10 D darbieten. Solche Augen haben eben die Axenlänge eines emmetropischen Auges. Sie waren ja früher emmetropisch. Die Wölbung der Retina im Ganzen und in ihren einzelnen Theilen kann sich daher ganz so verhalten wie bei Emmetropie.

Denkt man an das fast völlige Verschwinden der Netzhautreflexe bei Mydriasis, so kommt man zunächst auf den Gedanken, dass das von den Beobachtern angegebene Fehlen der Reflexe bei Neugeborenen vielleicht bloss dadurch hervorgerufen worden sein kann, dass die meisten Untersuchungen an Neugeborenen — sie wurden ja zur Bestimmung der Refraction gemacht — bei künstlich erweiterter Pupille vorgenommen wurden. Jaeger, der die Pupille nicht erweiterte, untersuchte wieder mit dem Helmholtz'schen Spiegel, mit dem man auch bei enger Pupille fast gar keine Reflexe wahrnimmt. Dies hat mich eben veranlasst, Neugeborene bei enger Pupille, gerade im Hinblick auf die Netzhautreflexe mit einem durchbohrten Plan- oder Concavspiegel zu untersuchen. Trotzdem fanden sich auch da nur Andeutungen von Netzhautreflexen.

Der Grund hiefür könnte zum Theil in der sehr geringen Pigmentirung der Augen der Neugeborenen liegen, deren Augenspiegelbild demjenigen von albinotischen Augen sehr nahe steht. Anderentheils ist es sehr wohl möglich, dass die Brechungsindices von Netzhaut und Glaskörper vielleicht nicht jenen Unterschied aufweisen wie bei Erwachsenen oder dass die Limitans interna bei Neugeborenen noch nicht jene Beschaffenheit besitzt, welche besonders bei älteren Kindern und jungen Leuten für die regelmässige Reflexion des Lichtes so geeignet macht.

Weiss wurde offenbar durch die scheinbare Lage eines Theiles der Retinalreflexe vor der Netzhaut veranlasst, anzunehmen, dass sie durch Spalträume in den peripheren Theilen des Glaskörpers entstehen. Dies kann in zweierlei Weise verstanden werden: Erstens es erfolgt der Reflex an der hinteren Wand der mit Flüssigkeit erfüllten Spalträume. Abgesehen davon, dass wir alle Reflexerscheinungen durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der inneren Oberfläche der Netzhaut erklären können, ist auch die Annahme sehr gezwungen, dass solche pathologische Spalträume so glatte Begrenzungsflächen haben, dass eine solche Reflexion des Lichtes daran stattfinden kann. Weiss selbst bemerkt, dass der Befund besonderer häutiger Gebilde, welche diese Hohlräume auskleiden würden, das Zustandekommen der Reflexe erklärlicher machen würde. Er hat aber vergeblich nach solchen Bildungen gesucht. Die zweite Möglichkeit, wie man sich die Reflexion des Lichtes an solchen Hohlräumen entstanden denken könnte, wäre die durch Reflexion des Lichtes beim Uebertritte aus dem Glaskörper in die Flüssigkeit in den Spalträumen. Betreffs dieser Entstehungsart wollen wir auf den nächsten Theil dieses Abschnittes, der von dem Reflexbogenstreifen handelt, verweisen.

Wenn man die von Berlin und Heuse gelieferten Beschreibungen über ringförmige Reflexe liest, so gewinnt man die Ueberzeugung, dass Beide dasselbe gesehen haben. Nur wird der Reflex von Berlin sehr weit nach vorne in die Gegend der hinteren Linsenfläche verlegt, während ihn Heuse als Retinalreflex auffasst. Berlin gibt aber nicht an, wie stark die Refractionsdifferenz zwischen dem Reflexe und den Gefässen des Augenhintergrundes ist. Die Verdoppelung der Ringe tritt, wie ich in Uebereinstimmung mit Heuse gefunden habe, dann auf, wenn der Reflex ein grösseres Netzhautgefäss trifft. Die parallaktische Verschiebung der Ringe gegen einander, die Berlin angibt, konnte ich aber nicht finden. Auch bezüglich des Vorkommens des Reflexes bei Kindern und besonders bei hypermetropischen Augen stimmen beide Beobachter überein.

Wie aus der oben von mir gegebenen Beschreibung dieses ringförmigen Reflexes hervorgeht, kann man denselben ohne Correctionsglas dann sehr gut sehen, wenn man in einiger Entfernung vom untersuchten Auge bleibt und es macht dann allerdings den Eindruck, als ob er sich in nicht zu grosser Entfernung hinter der Pupille befände. Bestimmt man aber die Lage des Ringes im Auge durch Einlegen von Convexgläsern in den Spiegel, so ist die Refractionsdifferenz nicht grösser als 6—8, höchstens 10 D. Natürlich muss man sich bei dieser Bestimmung mit dem Spiegel in der nächsten Nähe des Auges befinden. Diese Refractionsdifferenz genügt aber durchaus nicht, um den Reflex in die Gegend der hinteren Linsenfläche zu verlegen.

Die Entfernung der hinteren Linsenfläche vom Scheitel der Hornhaut beträgt im schematischen Auge 7·2 *mm*, von der Retina also 15·6 *mm*. Berechnen wir nach der Formel $l_1 l_2 = f_1 f_2$ die Entfernung des Objectpunktes von der vorderen Brennebene, wenn der Bildpunkt den Abstand von 15·6 *mm* von der hinteren Brennebene hat, so finden wir l_1 (den Abstand des Objectpunktes von der vorderen Brennebene) = 19·2 *mm*. Liegt das Correctionsglas in der vorderen Brennebene des Auges, so müsste es eine Brennweite von 19·2 *mm* haben, also 52 D stark sein. Es ist demnach kein Zweifel, dass der ringförmige Reflex, den man bei so vielen Kindern sieht, weit hinter der hinteren Linsenfläche seine Lage hat.

Das Verschwinden des Reflexes bei erweiterter Pupille veranlasste Berlin, einen Zusammenhang mit der Accommodation anzunehmen und war für Weiss ein Hindernis, die Erscheinung durch eine Reflexion des Lichtes an Hohlräumen im Glaskörper zu erklären. Es ist aber, wie wir oben erörtert haben, eine ganz allgemeine Eigenschaft der Netzhautreflexe, dass sie bei Mydriasis verschwinden oder nur sehr undeutlich sichtbar sind. Es würde dieser Umstand für uns also kein Grund sein, den ringförmigen Reflex nicht als Netzhautreflex anzusprechen.

Die Erklärung, die Heuse von dem Lichtreflex gegeben hat, scheint mir unannehmbar. Es ist nicht einzusehen, wie die doppelte Reflexion der Lichtstrahlen innerhalb der Netzhautschale zustande kommen soll, hier, wo das Licht ganz gerade von vorne durch die Pupille einfällt. Das von der beleuchteten Netzhautstelle regelmässig reflectirte Licht könnte doch nur die vordersten Theile der Netzhaut, ja kaum diese treffen. Der beleuchtete Netzhautbezirk ist ja nur klein. Ein Blick auf einen Augendurchschnitt zeigt, dass das Licht, welches von einem so kleinen Theile der Netzhaut, wenn man die gesammte Netzhaut als einen Hohlspiegel auffasst, reflectirt wird, nur die Gegend des Ciliarkörpers erreicht, von welchem doch absolut keine Reflexion in der Weise erfolgen kann, dass dadurch genügend Licht für einen Reflex an der ursprünglich beleuchteten Stelle gewonnen würde. Auch ist der Vergleich des Augeninneren mit der Form eines Beckens durchaus nicht zutreffend. Die Wölbung, die die Netzhautoberfläche hat, ist vielmehr eine annähernd sphärische.

Dagegen erklärt sich der ringförmige Reflex auf folgende Weise sehr gut. Es gibt in vielen Augen gewisse grössere Stellen an der inneren Oberfläche der Retina, die eine ziemlich genau sphärische, nach vorn concave Fläche von einem ziemlich grossen Krümmungsradius darbieten. Dieser Krümmungsradius ist aber immer bedeutend kleiner als der der äusseren Netzhautoberfläche. Solche Partien der Netzhaut finden sich ganz besonders häufig zwischen Macula und Papille vor. Die Ursache, warum sie gerade dort so oft liegen, ist zu suchen in dem Fehlen grösserer Netzhautgefässe, welche die innere Retinaloberfläche in kleinere, anders ge-

wölbte Strecken abtheilen würden und in dem Umstande, dass die Netzhaut neben der Papille an Dicke abnimmt, dann aber wieder in der Gegend der Macula dicker wird. Dadurch kann sehr leicht an dieser Stelle eine grössere nach vorn concave Fläche entstehen.

Diese, kleine Hohlspiegel darstellenden Theile der inneren Oberfläche der Retina, sind es, an denen der ringförmige Reflex entsteht. Er ist ringförmig, denn er stellt das verkehrte Bild eines ringförmigen von Lichtstrahlen durchsetzten Theiles der Pupille dar. Würde man ihn bei der Annäherung des Spiegels bis zur vorderen Brennebene des Auges in einem emmetropischen Auge noch mit + 6·0 D sehen, so würde dies einem Abstande des Reflexes von 1·76 *mm* vom hinteren Brennpunkte des Auges entsprechen.*) Aus der Formel für die Beziehung der Bild- und Objectabstände für den Hohlspiegel lässt sich dann leicht bestimmen, wie gross die Brennweite des kleinen Hohlspiegels sein müsste, damit das Bild der Pupille 1·76 *mm* vor der spiegelnden Fläche entsteht. Man findet dieselbe = 1·61, woraus folgt, dass der Krümmungsradius einer spiegelnden, concaven Fläche an der inneren Oberfläche der Netzhaut, welche das Bild der Pupille an einer solchen Stelle entwirft, dass es im emmetropischen Auge noch mit + 6·0 D zu sehen ist, 3·22 *mm* betragen würde.

Berechnet man den äusseren Durchmesser eines solchen Reflexringes für den Fall, dass die Pupille 4 *mm* weit ist, so findet man 0·36 *mm*. Der innere Durchmesser des Ringes wird natürlich bestimmt durch den Durchmesser jenes Antheiles der Pupille, durch welchen keine Strahlen mehr auf die spiegelnden Flächen gelangen können, oder genauer, durch den Durchmesser des Spiegelloches. Für 3 *mm* Durchmesser dieses Pubenden Theiles der Pupille geringer. Für 3 *mm* Durchmesser dieses Pupillarantheiles ergibt sich ein innerer Durchmesser des Reflexringes von fast 0·28 *mm*. Nehmen wir den inneren Durchmesser des Reflexringes zu 0·3 an, so würde er den 5. Theil des Papillendurchmessers ausmachen. Dies entspricht auch ganz gut dem Durchmesser, wie man ihn in Wirklichkeit findet.

Wiederum erfährt die hier gegebene Erörterung der Verhältnisse des Lichteinfalles eine kleine Modification durch den Umstand, dass der Spiegel schräg gehalten wird. Dadurch muss die Gestalt der Oeffnung des Ringes oval u. zw. längsoval werden. In der That sieht man den Ring auch sehr oft längsoval. (Auch Heuse gibt die Form des Ringes als oval an, aber ohne nähere Bestimmung, ob die längere Axe des Ovals vertical oder horizontal gestellt ist). Doch erscheint der Reflexring sehr oft auch ganz oder fast ganz rund. Dies ist eben dadurch hervorgerufen, dass die re-

*) Nagel. Die Anomalien der Refraction und Accomodation des Auges. Graefe-Saemisch VI. S. 271.

flectirende Fläche oft keine sphärische Krümmung hat, sondern in einer Richtung stärker gekrümmt ist, wodurch natürlich die Form des von ihr gelieferten Bildes beeinflusst wird.

Dass der Ring durch ein grösseres Netzhautgefäss an seinem Rande eingekerbt, überhaupt in seiner Form geändert werden kann, ist ganz begreiflich, da eben durch die grösseren Netzhautgefässe die Form der spiegelnden Fläche häufig begrenzt wird. Liegen zwei ähnliche spiegelnde Flächen durch ein grösseres Netzhautgefäss getrennt neben einander, so werden dann eventuell zwei Ringe aus dem einen Ringe.

Heuse erwähnt, dass der Ring sich gleichseitig mit den Bewegungen des Kopfes des Beobachters bewegt, dagegen nur minimal bei Drehungen des Spiegels um seine Längsaxe seine Stelle auf der Netzhaut ändert. In letzter Hinsicht stimme ich mit Heuse überein. Verschiebt man aber den Kopf, so wird der Ring, wie oben beschrieben, an der Seite, nach welcher man sich bewegt, breiter. Dies erkläre ich ganz einfach dadurch, dass der leuchtende Ring in der Pupille, der ja für die spiegelnde Fläche das leuchtende Object ist, bei einer Verschiebung des Spiegels nasalwärts an der temporalen Seite breiter wird. Da das Reflexbild des Bildes ein verkehrtes ist, so muss der Reflexring an der nasalen Seite dann breiter erscheinen.

Zugleich erscheint bei der Verschiebung des Spiegels, wenn dieselbe etwas stärker wird, der innere Durchmesser des Ringes in horizontaler Richtung verlängert, so dass die dunkle, von dem Ringe umschlossene Stelle bei einer horizontal erfolgten Verschiebung des Spiegels horizontal oval aussieht. Wir brauchen nur Fig. 16 anzusehen, um dies zu verstehen. Die Spitze des Schattenkegels d wird bei einer stärkeren Verschiebung des Spiegels einen Theil der von temporalwärts durch die Pupille herkommenden Strahlen abhalten, während in der verticalen Richtung von oben und unten das Licht ungestört einfallen kann.

Eine Bestätigung der hier dargelegten Erklärung bekommt man durch folgenden Versuch: Man schwärze einen sectorförmigen Theil eines Spiegels, so dass die Breite des Sectors an dem Rande des Spiegels etwa 15 *mm* beträgt. Untersucht man mit einem solchen Spiegel, so wird man finden, dass in dem Reflexringe immer ein der Lage des Sectors entgegengesetztes Stück des Ringes ausgefallen ist. Befindet sich z. B. der Sector an dem Spiegel nasenwärts mit Rücksicht auf das untersuchte Auge, so fehlt der temporale Theil des Reflexringes. Es können eben von dort keine Strahlen in die Pupille eintreten. Das Flammenbild, das wir in Zerstreuungskreisen auf dem Augenhintergrunde abgebildet sehen, zeigt dabei gar keine Unterbrechung aus demselben Grunde, aus welchem wir das Spiegelloch in diesem Flammenbilde nicht wahrnehmen. Eine Verkleinerung der spiegelnden Fläche des Spiegels kann ja nicht auf die Form und Grösse

des von dem Spiegel gelieferten Flammenbildes, sondern nur auf die Lichtstärke desselben einen Einfluss haben.

Das von Heuse beschriebene verkehrte Flammenbild, das er in zwei Fällen fand, konnte ich nicht in derselben Weise wahrnehmen. Doch sah ich in einem Falle, in dem der Reflexring mit dem Concavspiegel sehr deutlich zu sehen war, mit dem Planspiegel denselben in ein vertical stehendes, glänzendes Band verwandelt, in dessen Mitte eine runde dunkle Stelle war.

Es fragt sich zunächst, ob überhaupt ein solches Flammenbild gesehen werden kann?

Damit die spiegelnde Fläche ein Bild der Flamme entwerfe, muss sie so gross sein, dass von jedem Punkte des Flammenbildes Strahlen zu ihr gelangen können. Aber auch nicht in allen Fällen, in denen die spiegelnde Fläche genügend gross ist, um ein solches Flammenbild zu erzeugen, muss dasselbe auch vom Beobachter gesehen werden können.

Wir haben oben gesehen, dass die von den einzelnen spiegelnden Flächen an der Retina entworfenen Spiegelbilder stets durch das von der betreffenden spiegelnden Fläche gelieferte Bild der Pupille begrenzt werden müssen. Damit also ein Bild der Flamme dem Beobachter erscheine, muss das Flammenbild, das durch Reflexion an der Retina entsteht, kleiner sein als das von derselben Stelle der Retina entworfene Bild der Pupille.

Es ist sonach wohl nicht unmöglich, dass ein solches Flammenbild bei der Augenspiegeluntersuchung wahrgenommen wird, indessen hängt dies von so vielen Umständen ab, dass es nur selten sichtbar sein wird. Auch kann ein Flammenbild und ein Bild des Spiegelloches, doch nicht beide gleich deutlich gesehen werden. Um einen solchen Fall dürfte es sich bei dem oben erwähnten von mir beobachteten Reflex gehandelt haben.

Jedenfalls entsteht ein dem Untersucher sichtbares Flammenbild nicht auf die von Heuse angenommene Art, sondern durch einfache Reflexion an einer geeigneten Stelle der inneren Netzhautoberfläche unter den oben erwähnten günstigen Umständen.

Auch die concentrischen Ringe, die von Weiss bei myopischen Augen gesehen und für Reflexe in Hohlräumen des Glaskörpers erklärt wurden, sind ohne Zweifel blos Netzhautreflexe derselben Art. Dass sie so weit vor der Retina zu liegen scheinen, kann uns nicht überraschen, denn sie theilen diese Eigenschaft mit anderen Netzhautreflexen. Meist erscheinen ringförmige Reflexe in myopischen Augen jugendlicher Individuen auch nur als einfache Ringe, doch können bei einer besonderen Beschaffenheit der spiegelnden Flächen auch mehrere Ringe in einander zu liegen scheinen.

Sollen wir die Resultate der vorstehenden Untersuchungen kurz zusammenfassen, so müssen wir sagen:

Die Reflexstreifen neben den Gefässen und die sonstigen Reflexe von verschiedener Form, welche grösstentheils deutlich vor der Netzhautebene zu liegen scheinen, und in den Augen jugendlicher Individuen, besonders ausgebildet bei Hypermetropie, beim Gebrauch belegter Spiegel gesehen werden, sind durch annähernd concavcylindrische oder sphaerisch-concave Flächen, welche an der inneren Oberfläche der Netzhaut sich finden, bedingt. Diese Flächen entwerfen verkehrte, in einem gewissen Abstande vor ihnen liegende Bilder jener Theile der Pupille (oder genauer des Spiegels), durch welche das Licht zu ihnen gelangt.

In gleicher Weise, nur an den grösseren und schwächer gekrümmten von diesen reflectirten Flächen entstehen die von Berlin und von Heuse beschriebenen Reflexe, so wie die von Weiss erwähnten concentrischen Reflexringe im Glaskörper.

B. Der Weiss'sche Reflexbogenstreifen.

Literatur.

Es wird den Leser vielleicht überraschen, diesen Reflex unter den Netzhautreflexen angeführt zu finden, da er von Weiss in ganz anderer Weise erklärt wurde. Ich glaube aber im Folgenden nachweisen zu können, dass es sich dabei in der That um einen Netzhautreflex handelt.

Dieser Reflex erscheint als ein bogenförmiger Streifen in wechselnder, aber meist nicht bedeutender Entfernung den inneren Rand der Papille umfassend. Weiss (36, 51, 52) bemerkte ihn zuerst bei einem Mädchen von 10 Jahren, welches in der Maculagegend eine Refraction von 2·5 D Myopie bei geringer hypermetropischer Einstellung der Peripherie aufwies. Er lag unweit vom nasalen Rande der Papille und umgriff dieselbe von oben und unten. Bei wechselnder Spiegelhaltung nähert er sich etwas der Papille oder entfernt sich von ihr. Bei Einstellung mit Concavgläsern ist er kaum sichtbar, dagegen sehr deutlich bei der Einstellung auf die hypermetropische Peripherie.

Bei weiteren auf diesen Gegenstand gerichteten Untersuchungen fand Weiss, dass dieser Reflexstreifen bei Myopen eine sehr häufige Erschei-

nung ist, sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern, bei Letzteren häufiger. Der Streifen erscheint im aufrechten Bilde bei Einstellung auf die Netzhautebene nur ganz undeutlich. Wohl aber tritt er scharf hervor, wenn man sich auf den Glaskörper in seinen hinteren Partien einstellt. Die Differenz zwischen den Gläsern, mit denen der Fundus scharf zu sehen ist und jenen, mit denen der Reflexstreifen am besten sichtbar ist, kann 1—3 D betragen und darüber. Man sieht ihn nach Weiss auch mit dem Helmholtz'schen Spiegel, wenn er stark ausgebildet, auch im verkehrten Bilde.

Mit zunehmender Myopie wuchs im Allgemeinen die Refractions-Differenz und auch der Abstand des Streifens von der Papille. Manchmal erscheint der Reflexstreifen doppelt.

In gewissen Fällen ist er nach innen oben von der Papille gelegen, dann ist gewöhnlich die Papille nach aussen und unten verzogen und dort der Conus am breitesten.

Bei Drehungen des Spiegels wird er an manchen Stellen breiter und rückt näher an den inneren Papillenrand, wenn man mit dem Spiegel mehr gegen die Peripherie geht.

An der Papille waren gewöhnlich die Veränderungen zu sehen, welche die Zeichen der sich vollziehenden oder vollzogenen Ektasirung des hinteren Bulbusabschnittes sind. Dass der Streifen auch manchmal bei hypermetropischen Augen sich vorfindet, erklärt sich daraus, dass dies eben auch Augen sind, deren Augenaxe sich durch Ektasie am hinteren Pole verlängert.

Weiss erklärt nun den Reflexbogenstreifen durch eine Flüssigkeitsansammlung vor der Papille. Wenn sich der hintere Theil des Auges ausbuchtet, so sind in Bezug auf den Glaskörper folgende Möglichkeiten vorhanden: 1. Entweder er nimmt an Grösse zu, oder 2. der Glaskörper hebt sich ab oder 3. es bilden sich Höhlen im Glaskörper. Der Reflexbogenstreifen sei nicht mit den »unregelmässigen über den Augengrund verstreuten Reflexstreifen zu verwechseln, wie sie in kindlichen Augen vorkommen.« Der Reflexstreifen entstehe bei einer Flüssigkeitsansammlung vor der Papille dadurch, »dass an der Grenze zweier optisch verschiedener Medien an der Stelle, an der die Trennungsfläche die geeignete Krümmung hat, eine Reflexion des einfallenden Lichtes stattfindet.«

In Betreff der Glaskörperablösung citirt Weiss die Befunde der anatomischen Untersuchung bei myopischen Augen, die er in Nagels Mittheilungen Band I. 3. 1882 veröffentlicht hat. Wird die Myopie stärker, so wird die Glaskörperablösung grösser und rückt weiter von der Papille ab, folglich entfernt sich auch der Reflexstreifen von der Papille. Bei weiterer Zunahme der Myopie flacht sich die Grenzlinie der Glaskörperablösung ab und damit ist auch die Entstehung eines solchen Reflexes an ihr nicht mehr möglich. Es fand sich auch ein Fall, wo an einem Auge mit schwächerer

Myopie ein deutlicher Reflexbogenstreifen nahe der Papille zu sehen war, während am anderen Auge, das stärker myopisch war, ein kleines Stück des Reflexstreifens weiter abgerückt von der Papille sich fand oder der Reflexstreifen auch ganz fehlte.

Eine umfassende Untersuchung ergab, dass der Reflexbogenstreifen sich bei Hypermetropie in 20·6 %, bei Emmetropie in 32·6 %, bei Myopie in 69·4 % vorfindet. Als die Veränderungen der Papille bei Ektasie am hinteren Pole bezeichnet Weiss: Verziehung der Papille nach aussen, Verbreiterung des Skeralringes auf der temporalen Seite, Abrücken des Pigments am äusseren Rande mit anschliessendem hellen Bügel, Herüberziehung der Chorioidea am inneren Rande. Gleichzeitig mit diesen Veränderungen wurde der Reflexstreifen in 86·3 %, ohne solche in 13·7 % gefunden.

Weiss macht darauf aufmerksam, dass man oft geneigt ist, in Fällen, wo bei Myopie keine Veränderungen an der Papille wahrgenommen werden oder auch nur solche, wie sie zum Grade der Myopie in keinem Verhältnisse stehen, eine Krümmungsmyopie anzunehmen. Wenn man nun in solchen Fällen einen Reflexbogenstreifen findet, so ist die Myopie doch als eine Axenmyopie aufzufassen, weil der Reflexbogenstreifen eben als durch eine Flüssigkeitsansammlung vor der Papille hervorgerufen angesehen werden muss.

Knies (53.) sah den in Rede stehenden Reflexbogenstreifen viel weniger häufig als Weiss. Auch er bezieht ihn auf eine Glaskörperablösung. Er fand ihn einmal nach einer Contusion des linken Auges. Es bestand links 0·5 D Hypermetropie, leichte Ciliarinjection und beträchtliche Herabsetzung des intraoculären Druckes. Beiderseits war der Fundus normal, die Netzhaut sehr glänzend. An dem linken Auge war der Sehnerv entschieden hyperämisch, aber nicht im geringsten trübe. Nach Knies wäre hier offenbar eine traumatische Glaskörperablösung anzunehmen.

Gelegentlich seiner Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit erwähnt Stilling (56.) auch des Reflexbogenstreifens. Da er bei Augen mit mittlerer Myopie eine vollständig normale Consistenz und Beschaffenheit des Glaskörpers gefunden hatte, so kann er der Erklärung von Weiss nicht beistimmen. Auch befindet sich, sagt Stilling, im normalen Zustande überhaupt kein Glaskörper vor der Papille, er kann sich also dort auch nicht abheben. Dagegen glaubt Stilling in der Formation des Centralcanales vor der Papilla optica die Bedingungen gefunden zu haben, unter denen eine solche Erscheinung, wie sie von Weiss vollkommen richtig beschrieben und an den richtigen Ort verlegt wird, zu Stande kommen kann. Denn hier sind Grenzflächen zweier optisch verschiedener Medien vorhanden. Wird bei der Conusbildung die Papille verzogen, so wird auch die Gestalt der Area Martegiani eine Formveränderung

erleiden, in der Art, dass das Ende des Glaskörpertrichters dem mit dem Augenspiegel Untersuchenden sichtbar wird und damit auch die Reflexion an dessen Wand.

Noch eine andere Erklärung erfährt der Reflexbogenstreifen durch Randall (58). Derselbe sah ihn zuerst bei einem 11 jährigen Mädchen mit Myopie und Astigmatismus, nachdem er ihn früher lange vergeblich gesucht hatte. Die Papille war queroval mit einer tiefen Excavation, die nach der nasalen Seite eine steile Wand hatte, gegen die temporale Seite hin aber mehr allmälig abfiel. Es war kein Conus vorhanden. Die Papille war schräg gestellt, indem der nasale Rand um etwa 2 D vor dem temporalen Rande vorragte. Der nach oben innen sichtbare Reflexbogenstreifen war am besten zu sehen, wenn man mit einem zu schwachen Glase untersuchte, doch auch bei Einstellung auf die Netzhautebene. Randall fand den Reflexbogenstreifen unter 100 Augen nur 6 mal. Er erklärt das Zustandekommen des Reflexstreifens, indem er einen Befund von Weiss bei mittlerer Myopie heranzieht, wo die von der Papille ausstrahlenden Nervenfasern am inneren Rande der Papille eine starke Prominenz bilden. An diesen convexen Flächen entsteht der Reflex, so dass also nach Randall der Reflexbogenstreifen ein Netzhautreflex wäre. Weiter sagt Randall noch: »Obschon dieser Bogen, wie jeder retinale Reflex, am glänzendsten mit einem stärkeren Convex-, resp. schwächeren Concavglase zu sehen ist, so ist es doch möglich, ihn ohne dieses zu sehen, in derselben Ebene wie die Details der Netzhaut.«

Eigene ophthalmoskopische Beobachtungen.

Befunde, die dem Weiss'schen Reflexbogenstreifen entsprechen, kann man auch sehr oft in emmetropischen und hypermetropischen Augen sehen, wie ja auch Weiss selbst bei diesen Refractionszuständen den Reflexstreifen, wenn auch seltener als bei Myopie gefunden hat. Man sieht ihn aber in emmetropischen und hypermetropischen Augen zumeist, ohne dass man gleichzeitig irgend welche Veränderungen an der Papille constatiren könnte, die auf eine Ektasirung in der Gegend des hinteren Augenpoles zurückgeführt werden müssten. Es sind dies Augen, die in jeder Hinsicht einen vollkommen normalen Befund zeigen.

Das Bild, welches der Reflexbogenstreifen in Augen verschiedener Refraction bei der Untersuchung im aufrechten Bilde darbietet, ist folgendes: Ein glänzender weisser Streifen umgibt die ganze oder nur

einen Theil der inneren Hälfte des Papillenrandes, ziemlich concentrisch zu demselben verlaufend. Er kann auch über die Verlängerung des verticalen Meridians der Papille von oben oder von unten etwas hinübergreifen. Die Entfernung des Streifens vom Papillenrande beträgt meistens nur einen Theil des Papillendurchmessers, manchmal aber auch einen ganzen Papillendurchmesser oder selbst noch mehr. Der Reflexstreifen stellt entweder nur eine feine Linie dar — in welchem Falle er sich auch streckenweise oder ganz verdoppeln kann —, oder einen Streifen, dessen Breite das Mehrfache des Durchmessers eines grösseren Netzhautgefässes ist. Uebrigens ist der Streifen nicht ganz gleichmässig breit, sondern ist an manchen Stellen breiter, an manchen etwas schmäler. Auch kann man mitunter sehen, dass er an manchen Stellen in ringförmige oder in halbringförmige glänzende Figuren, besonders bei einer gewissen Stellung des Spiegels übergeht. In manchen Fällen konnte ich direct constatiren, dass der Reflexstreifen an seinem oberen oder unteren Ende in die bekannten, im vorigen Abschnitte beschriebenen Reflexstreifen neben den Gefässen ausläuft.

Sehr deutlich kann man nachweisen, dass der Reflexstreifen vor der Netzhaut im Glaskörper zu liegen scheint. Die Refractionsdifferenz schwankt von 0·5 D bis etwa 4 D. Meist kann man ihn auch bei der Einstellung auf den Fundus sehen, doch ist er manchmal nur dann deutlich und hell wahrzunehmen, wenn man sich eben für eine bestimmte, vor der Netzhaut gelegene Ebene einstellt.

Die soeben gegebene Beschreibung gilt für durchbohrte belegte Spiegel, wobei zu erwähnen ist, dass der Reflexstreifen sowohl mit dem Planspiegel, als mit dem Concavspiegel von 18 *cm* Brennweite ziemlich unverändert sichtbar ist. Beim Gebrauche des starken Concavspiegels von 8 *cm* Brennweite erscheint er viel heller und glänzender, jedoch von annähernd derselben Breite. Seine Ausdehnung in der Länge zeigt sich aber dann oft bedeutender, er umfasst einen grösseren Theil der Papillencircumferenz.

Beleuchtet man das Auge mit dem Helmholtz'schen Spiegel, während die Lampe an demselben Orte bleibt wie früher, so kann man den Streifen nicht sehen.

Dreht man den Spiegel, während man den Kopf völlig ruhig hält, um seine Längsaxe, so ändert der Reflexstreifen weder seine Form noch seine Lage, dagegen verschiebt er sich bei seitlichen Verschiebungen des Spiegels vor dem untersuchten Auge stets in der entgegengesetzten Richtung. War er bei einer gewissen Spiegelhaltung als doppelte Linie zu sehen, so verschwindet bei einer solchen seitlichen Verschiebung des Spiegels die eine dieser Linien und zwar immer die, welche der Richtung der Spiegelbewegung entgegengesetzt liegt. Hat man also den

Spiegel beispielsweise gegen die Nasenseite des untersuchten Auges verschoben, so verschwindet der temporalwärts gelegene Streifen.

Untersucht man im verkehrten Bilde, so kann man den Reflexstreifen nur dann sehen, wenn er sehr ausgebildet war. Er ist übrigens dann nie doppelt. Auch kann man in Fällen, wo er bei der Untersuchung im aufrechten Bilde stellenweise in halbring- oder ringförmige Reflexe übergieng, im verkehrten Bilde diese Erscheinung nicht beobachten. Der Reflex stellt dann einen ziemlich gleichförmigen glänzenden Streifen dar. Verschiebt man die Linse beim verkehrten Bilde seitlich vor dem untersuchten Auge, so scheint sich der Reflexbogenstreifen etwas in derselben Richtung zu bewegen.

Bei künstlicher Erweiterung der Pupille ist der Reflexbogenstreifen gar nicht oder viel breiter, verschwommener und weniger glänzend zu sehen. Es gilt dies vom aufrechten Bilde, noch mehr aber vom umgekehrten, bei welcher Methode man ihn ja auch bei enger Pupille nur dann beobachten kann, wenn er im aufrechten Bilde sehr deutlich ausgeprägt war.

Bei myopischen Augen die einen Conus haben, liegt der Reflexbogenstreifen, wie dies Weiss auch angibt an der dem Conus entgegengesetzten Seite der Papille. Bei einem Conus nach aussen unten ist der Reflexbogenstreifen am inneren oberen Rande der Papille. Auch hierin, dass er bei Myopie in etwas grösserer Entfernung von der Papille auftritt, stimme ich mit Weiss überein. Dagegen möchte ich darauf aufmerksam machen, dass man, wenn der Reflexbogenstreifen sichtbar ist, sehr oft eine deutliche Differenz in der Refraction, am äusseren und inneren Papillenrande findet, in der bekannten Weise, dass der innere Papillenrand eine geringere Myopie zeigt als der äussere.

Bezüglich des Grades der Myopie erwähnt auch Weiss, dass man den Reflexbogenstreifen bei höheren Graden von Myopie meist nicht mehr findet. Ich kann sagen, dass ich den Reflexbogenstreifen bei Myopie von fast 10 D oder noch mehr gewöhnlich nicht finden konnte, ferner nie bei sehr ausgebreiteten, grossen Staphylomen, nach aussen liegenden oder ringförmigen.

Das Alter des Individuums ist ganz so wie bei den schon beschriebenen Netzhautreflexen von Einfluss auf den Befund des Reflexbogenstreifens. Man findet ihn am schönsten bei Kindern, aber auch noch bei jungen Leuten von 20—25 Jahren. Weiss sagt darüber, dass der Reflexbogen streifen bei myopischen Augen ein sehr gewöhnlicher Befund sei, »sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern, bei Letzteren noch häufiger als bei Ersteren.«

Oefter konnte ich constatiren, dass der Reflexbogenstreifen bei Myopen dann in besonders schöner Entwicklung zu sehen war, wenn sich

in den betreffenden Augen auch sonst sehr viele Netzhautreflexe zeigten was eben sonst bekanntlich bei Myopie gewöhnlich nicht vorkommt.

Erklärung der ophthalmoskopischen Erscheinungen.

Bekanntlich hat Weiss das Zustandekommen des Reflexbogenstreifens durch eine Glaskörperablösung vor der Papille erklärt, während Stilling, der den Glaskörper bei mittlerer Myopie von normaler Consistenz fand, die Form des Centralcanals des Glaskörpers vor der Papille als Ursache des Reflexes bezeichnete.

Der Reflexbogenstreifen erscheint, wie erwähnt, im verkehrten Bilde breiter als im aufrechten. Selbst im verkehrten Bilde ist er aber ziemlich schmal und wenn wir seine Breite mit $^1/_5$ des Papillendurchmessers, also mit 0·3 *mm* annehmen, so ist dies bereits entschieden mehr als man in Wirklichkeit beobachtet.

Es soll nun nach Weiss der Reflexbogenstreifen an der nach vorn convexen Fläche der Glaskörperablösung entstehen. Es wäre dies natürlich a priori bei einer genügend glatten Trennungsfläche zwischen Glaskörper und der dahinter befindlichen Flüssigkeit beim Uebergang aus einem stärker brechenden Medium in das schwächer brechende möglich, gerade so wie bei den Versuchen mit dem künstlichen Auge an der Trennungsfläche zwischen Glas und einer Flüssigkeit von einem geringeren Brechungsindex als Glas ein Reflex entsteht. Wie gross müsste der Krümmungsradius dieser Fläche sein, um einen Reflexstreifen von der besagten Breite zu bilden?

Nehmen wir an, dass die Pupille 4 *mm* weit ist und dass, wie das bei der Untersuchung im verkehrten Bilde der Fall ist, fast die ganze Pupille für die spiegelnde Fläche das leuchtende Object ist. Die Entfernung der spiegelnden Fläche von der Pupille wäre 20 *mm*, was ungefähr der Lage der Grenzfläche des Glaskörpers in einem durch Axenverlängerung myopisch gewordenen Auge entspricht.

Für den Convexspiegel ist $\beta = \frac{Bf}{l+f}$, wobei β die Grösse des Spiegelbildes, B die Grösse des Objectes, l den Abstand des Objectes von der spiegelnden Fläche und f die Brennweite derselben bedeutet. Daraus lässt sich f für $\beta = 0{\cdot}3$ *mm*, B = 4 *mm*, l = 20 *mm* berechnen. Man bekommt so f = 1·6 *mm*.

Dies wäre die Brennweite des Convexspiegels, welcher ein Bild von 0·3 *mm* Durchmesser von der Pupille entwirft. Nun haben wir aber

oben bei der Berechnung der Reflexstreifen auf den Gefässen gefunden, dass das Bild doppelt so breit erscheint, als es wirklich ist. Wir müssen deshalb die Brennweite der spiegelnden Fläche = 0·8 *mm* setzen. Für diese Brennweite wäre f_1f_2 in Fig. 21 0·15 *mm* und ab 0·3 *mm*.

Der Reflexstreifen an einer solchen convexen Fläche könnte aber dem Beobachter nur dann ganz sichtbar werden, wenn die spiegelnde Fläche so liegt, dass die von den Rändern der Pupille an dem Krümmungsmittelpunkt der spiegelnden Fläche und darüber hinaus bis zur Retina gezogenen Linien diese spiegelnde Fläche selbst treffen.

Betrachten wir die Fig. 27, welche die Copie einer Figur von Weiss ist und in welcher mit × × × die Stelle bezeichnet ist, an welcher nach Weiss der Reflexstreifen entstehen soll, so ergibt sich, dass die Begrenzung des Glaskörpers an dieser Stelle recht wohl die zur Erzeugung des Reflexstreifens geeignete Krümmung und Lage haben könnte. Die reflectirende Fläche müsste aber in ihrem ganzen Verlaufe stets nahezu denselben Krümmungsradius haben, da uns der Reflexbogenstreifen in seinen einzelnen Theilen von ziemlich gleichmässiger Breite erscheint. Eine solche, äusserst regelmässige Oberfläche ist aber für ein pathologisches Gebilde von so schwankenden Grenzen wie eine Glaskörperablösung kaum denkbar.

Man könnte aber auch noch vermuthen, dass in einem schmalen Streifen der Begrenzungsfläche des Glaskörpers totale Reflexion des Lichtes erfolgt und dass diese den Grund für den Reflexbogenstreifen abgibt.

Fragen wir uns nun, ob überhaupt eine solche totale Reflexion an der Begrenzungsfläche des Glaskörpers gegen eine dahinter befindliche Flüssigkeit möglich ist. Man findet bekanntlich den Grenzwinkel r nach der Formel: $\sin r = \frac{1}{n}$. Dieser Grenzwinkel gilt für den Uebergang des Lichtes aus Luft in eine bestimmte Substanz von dem Brechungsindex n. Nun ist der Brechungsindex des Glaskörpers sehr wenig von jenem des Wassers verschieden. Es ergeben übrigens die Bestimmungen sehr bedeutende individuelle Verschiedenheiten. Den Brechnungsindex der hinter dem abgehobenen Glaskörper (oder im Centralcanale) enthaltenen Flüssigkeit können wir wohl gleich dem des Wassers annehmen. Der Berechnung des Grenzwinkels wollen wir den am meisten vom Brechungsindex des Wassers differirenden Werth, wie ihn W. Krause gefunden hat, zu Grunde legen.*) Nach diesem wäre der Brechungsindex des Glaskörpers = 1·3569, jener des destillirten Wassers = 1·3342. Wir müssen nun den Brechungsexponenten des Wassers = 1 setzen und dann darnach den Brechungsindex des Glaskörpers bestimmen. Dieser wäre 1·0170. sin r ist dann = 0·98328 und r = 79° 32′.

---

*) Helmholtz, physiolog. Optik. II. Auflage, Seite 98.

Es folgt daraus: Bei dem angenommenen Brechungsindex des Glaskörpers und unter der Voraussetzung, dass die hinter dem Glaskörper befindliche Flüssigkeit den Brechungsindex des destillirten Wassers hat, muss ein Lichtstrahl, der den Glaskörper durchsetzt, mit dem Einfallslothe der Trennungsfläche zwischen Glaskörper und der Flüssigkeit dahinter einen Winkel von 79⁰ 32′ bilden, damit kein Licht aus dem Glaskörper in die Flüssigkeit austrete. Der Lichtstrahl würde aber unter diesen Umständen sich entsprechend dem Begriffe des Grenzwinkels nur parallel der Trennungsfläche fortpflanzen. Damit der Lichtstrahl wieder in den Glaskörper zurückkehre, müsste der Einfallswinkel auf die Trennungsfläche zwischen Glaskörper und Flüssigkeit noch grösser sein als 79⁰ 32′.

Es ist aber absolut keine Rede davon, dass solche in den Glaskörper zurückreflectirte Lichtstrahlen wieder durch die Pupille austreten und vom Beobachter wahrgenommen werden könnten. Vielmehr würden diese Lichtstrahlen blos von ihrem Wege seitlich abgelenkt werden. Setzen wir voraus, dass der Lichtstrahl durch die Pupille in der Richtung der optischen Axe des Auges einfiele, so müsste sich die Pupille des beobachtenden Auges ein wenig zur Seite vom hinteren Ende der optischen Axe befinden, um den an der Trennungsfläche reflectirten Lichtstrahl aufzufangen. Zudem müsste die Trennungsfläche der beiden Medien, damit der Lichtstrahl überhaupt unter diesem grossen Einfallswinkel auf sie auffallen kann, nur um wenige Grade von der Richtung der optischen Axe abweichen.

Es geht daraus hervor, dass ein dem Beobachter sichtbarer, durch totale Reflexion entstandener Reflex an der Trennungsfläche zwischen Glaskörper und einer dahinter befindlichen Flüssigkeit gar nicht denkbar ist. Der Unterschied zwischen dem Brechungsexponenten des Glaskörpers und dem der Linse ist ein viel bedeutenderer und dennoch kann der Rand einer luxirten Linse durch totale Reflexion des einfallenden Lichtes bei der Augenspiegeluntersuchung nicht hell erscheinen. Man sieht wohl den Rand einer in die vordere Kammer luxirten Linse infolge totaler Reflexion bei der seitlichen Beleuchtung glänzen, aber gerade aus dem Grunde, weil man dabei nicht in der Richtung des auffallenden Lichtes auf die Linse blickt. Dieses Letztere ist aber bei der Augenspiegeluntersuchung der Fall.

Es würde also das Licht an der Trennungsfläche zwischen Glaskörper und der Flüssigkeit, wenn überhaupt die Trennungsfläche eine für die totale Reflexion geeignete Stellung hätte, so reflectirt werden, dass es nicht in das Auge des Beobachters zurückgelangen würde. Der Theil der Trennungsfläche, wo eine totale Reflexion stattfindet, müsste also nicht hell, sondern im Gegentheil dunkel erscheinen.

Da die Erklärung des Reflexbogenstreifens durch Reflexion an der nach vorn convexen Begrenzungsfläche des abgehobenen Glaskörpers nicht

wahrscheinlich, durch totale Reflexion an dieser Fläche gar nicht denkbar ist, so müssen wir nach einer anderen Erklärung suchen.

Der Reflexbogenstreifen zeigt sowohl, was seine Lage vor der Netzhaut als sein Verhalten bei verschiedenen Beleuchtungsarten, bei Verschiebungen und Drehungen des Spiegels betrifft, in jeder Hinsicht eine vollständige Uebereinstimmung mit den im 1. Theile dieses Abschnittes beschriebenen Netzhautreflexen. Ausserdem sieht man ihn in manchen Fällen direct in andere Netzhautreflexe mit vollständiger Bestimmtheit übergehen, so dass man schon hierdurch darauf geleitet werden muss, ihn mit diesen Reflexen in Zusammenhang zu bringen. Dennoch sagt Weiss, dass »der Reflexbogenstreifen mit seiner bestimmten Lage und seinem eigenthümlichen Verhalten nicht mit den unregelmässig über den ganzen Augengrund verstreuten Reflexfiguren verwechselt und zusammengeworfen werden darf, wie sie im kindlichen Auge gar nicht so selten, mitunter sehr ausgebildet gesehen werden«.

Die von Weiss angenommene Erklärung für den Reflexbogenstreifen hat ihn sogar veranlasst, auch einen Theil dieser Reflexe auf Spalträume im Glaskörper zurückzuführen. Schon im vorhergehenden Theile dieses Abschnittes wurde nachgewiesen, dass alle diese Reflexe an der inneren Oberfläche der Netzhaut entstehen und es bedarf keiner weiteren Erklärung, dass sie ebensowenig wie der Reflexbogenstreifen durch eine Reflexion des Lichtes, dort wo dieses aus dem Glaskörper in die die Spalträume erfüllende Flüssigkeit eintritt, entstehen könnten.

Wenn es nun schon sehr wahrscheinlich geworden ist, dass auch der Reflexbogenstreifen seinen Grund in einem Reflex an der inneren Oberfläche der Netzhaut hat, so wäre noch nachzuweisen, warum derselbe gerade an diesem Orte, in dieser Form und so besonders häufig bei Myopie beobachtet wird. Zu diesem Behufe habe ich in Fig. 27 denselben Augendurchschnitt eines myopischen Auges von etwas weniger als 5 D, den auch Weiss zur Erklärung des Reflexbogenstreifens heranzieht wieder abgebildet*). Vor der Papille fand sich eine Glaskörperabhebung und an der mit × × × bezeichneten Stelle der Trennungsfläche zwischen Glaskörper und der dahinterliegenden Flüssigkeit soll nach Weiss der Reflexbogenstreifen entstehen. Es sei hier noch einmal darauf hingewiesen, dass die Lage der Trennungsfläche zum einfallenden Lichte absolut nicht jenen Winkel einschliesst, wie er nothwendig wäre, um totale Reflexion an der Trennungsfläche hervorzurufen.

Randall, der sich auf denselben Fall beruft, nimmt an, dass der Reflexbogenstreifen ein Retinalreflex sei, welcher an der nach vorn convexen Fläche der Retina am inneren Rande der Papille zustande komme, wobei

*) J. Weiss, Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges, Nagels Mittheilungen 1880. I. Bd. 3. 1. Fall. Linkes Auge.

er ganz richtig bemerkt, dass er wie alle Retinalreflexe mit stärkeren Convex- oder schwächeren Concavgläsern gesehen werden kann, obwohl auch bei Einstellung auf die Netzhaut selbst.

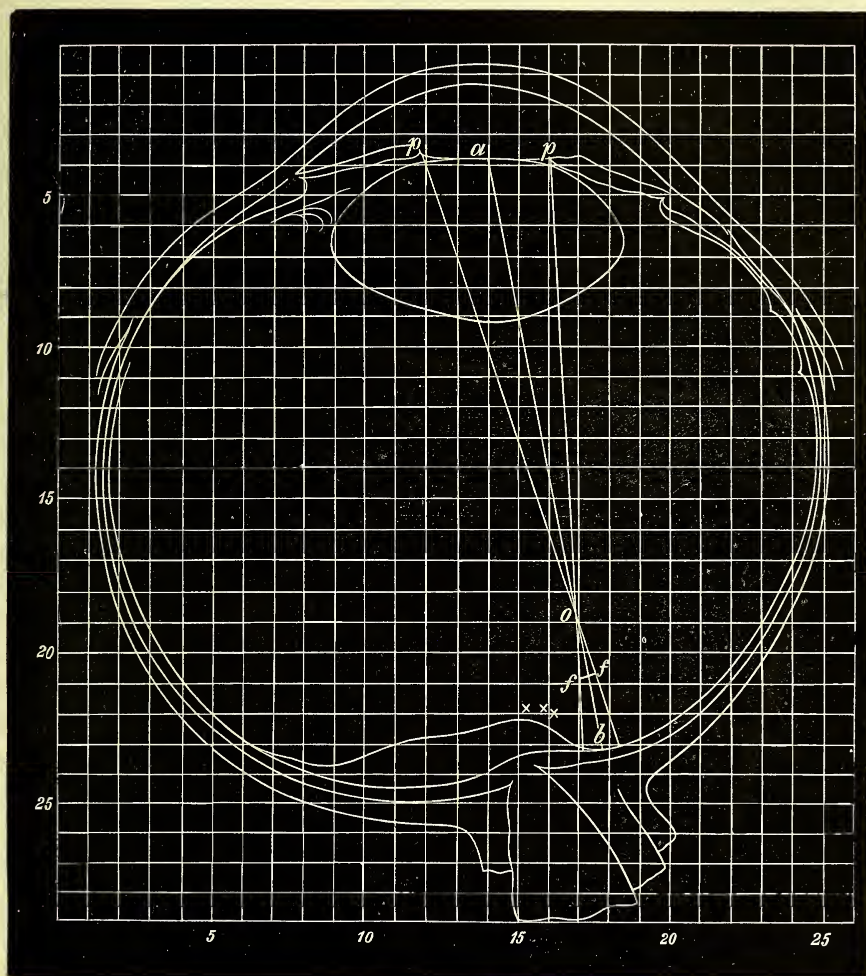


Fig. 27.

Betrachtet man die Fig. 27, so wird man finden, dass sowohl bei der Erklärung von Weiss, als auch bei jener von Randall der Reflexbogenstreifen unmittelbar vor dem inneren Rande der Papille gesehen werden müsste. Randall bildet aber hiezu das ophthalmoskopische Bild eines Auges ab, wo der Reflexbogenstreifen um $\frac{1}{3{\cdot}4}$ des Papillendurchmessers von dem inneren Rande der Papille entfernt ist. Auch die Abbildungen von

Weiss (51) zeigen den Reflexbogenstreifen, so wie es in der That der Fall ist, in einem oft bedeutenden Abstande vom inneren Rande der Papille. Würde es sich ferner, wie Randall meint, um einen Reflex an jener convexen Fläche der Retina handeln, dann wäre das Bild des beleuchteten Theiles der Pupille eben ein aufrechtes Bild und könnte sich bei Verschiebungen des Spiegels zur Seite und damit erfolgender Aenderung der Richtung der Gesichtslinie des Beobachters zu der betreffenden Netzhautstelle überhaupt nicht verschieben, da die Krümmung der convexen Fläche nicht genügend stark ist, um jene scheinbare Verschiebung wie bei den Reflexstreifen auf den Gefässen zu bewirken. Der Reflexbogenstreifen bewegt sich aber bei diesen Verschiebungen in der entgegengesetzten Richtung. Es wäre weiter nicht einzusehen, warum das aufrechte, von der convexen Fläche entworfene Bild bei einer Einstellung auf eine vor der Netzhaut gelegene Ebene ebenso deutlich oder noch deutlicher hervortreten sollte.

Dies alles weist darauf hin, dass der Reflexbogenstreifen von einer concaven Fläche erzeugt wird und sowie die übrigen Netzhautreflexe ein verkehrtes Bild des leuchtenden Theiles der Pupille darstellt. Wir brauchen auch nicht lange nach einer solchen Fläche zu suchen. Es ist die concave Fläche, durch welche die convexe Fläche am inneren Papillenrande in die übrige Krümmung der inneren Netzhautoberfläche übergeht. Ihr Krümmungsmittelpunkt würde in der Figur in o liegen, so dass in der Figur der Krümmungsradius der betreffenden concaven Fläche 17·9 *mm* wäre. Nun heisst es im Text der Weiss'schen Mittheilung, dass die äussere Symmetrieaxe des betreffenden Bulbus $24^2/_3$ *mm* betrug. Diese ist in der Figur 94·6 *mm* lang. Die Figur ist also 3·8mal vergrössert, woraus sich berechnen lässt, dass der Krümmungsradius der concaven Fläche in Wirklichkeit 4·7 *mm* gewesen wäre. Mit Rücksicht auf die Vergrösserung, in der die Figur dargestellt ist, findet man die Entfernung a b, dies ist den Abstand der Pupille von der Netzhaut = 20·78 *mm* und daraus die Entfernung des Bildes $f_1 f_2$ in Wirklichkeit 2·64 *mm* von der inneren Oberfläche der Retina (in der Figur 10·0 *mm*).

Wäre die ganze Pupille von Lichtstrahlen durchsetzt, die zu der spiegelnden Fläche gehen, wie z. B. beim verkehrten Bilde, so würde man eben die Grösse des Bildes finden, indem man von den Endpunkten der Pupille $p_1 p_2$ durch den Krümmungsmittelpunkt o Linien bis zur Retina zieht. Nur wenn die spiegelnde Fläche aber so weit reicht, dass auch die von der reflectirenden Fläche zurückgeworfenen und durch die Endpunkte des von ihr erzeugten Bildes verlaufenden Strahlen die Pupille verlassen können, würde, wie dies bei den Figuren 24 und 25 auseinandergesetzt wurde, das ganze Reflexbild für den Beobachter sichtbar sein.

Da die spiegelnde Fläche aber in dieser Krümmung wohl oft nicht so weit geht, so wird auch im verkehrten Bilde der Bogenstreifen schmäler als $f_1 f_2$ erscheinen; noch schmäler aber im aufrechten Bilde, wo eben nur ein Theil der Pupille für die spiegelnde Fläche das leuchtende Object ist. Bezüglich aller übrigen Verhältnisse gilt ganz dasselbe, was wir im ersten Theile dieses Abschnittes von den Netzhautreflexen überhaupt gesagt haben.

Es wäre nur noch zu erwähnen, dass der Reflexbogenstreifen deshalb im verkehrten Bilde so undeutlich erscheint oder fast gar nicht sichtbar ist, weil hier fast die ganze Pupille das leuchtende Object ist. Es gelangt also wohl mehr Licht auf die Retina, aber das von der spiegelnden Fläche gelieferte Bild ist auch um so grösser und da die Fläche selbst sehr klein ist, so kann von diesem Bilde nur ein sehr kleiner Theil vor ihr liegen und also vom Beobachter gesehen werden.

In dem Falle, den die Figur darstellt, wäre allerdings die Refractionsdifferenz zwischen dem Reflexe und dem Augenhintergrunde eine aussergewöhnlich grosse. Eine Lage des Reflexes 2·64 *mm* vor der Retina würde nämlich einer Refractionsdifferenz von etwa 9·0 D entsprechen. Dies kann aber unsere Erklärung durchaus nicht umstossen, denn das anatomische Präparat kann unmöglich die Krümmung der betreffenden Stelle an der Oberfläche der Netzhaut ganz genau wiedergeben. Eine etwas stärkere Krümmung wird den Reflex sogleich näher an der Netzhaut und auch schmäler erscheinen lassen.

Fasst man aber den Reflex als an dieser Stelle der Retina entstanden auf, dann wird es sogleich erklärlich, dass er in einiger Entfernung vom inneren Papillenrande auftreten muss. In der Figur würde diese Entfernung etwa einen Papillendurchmesser betragen. Da nun diese concave Fläche am äusseren Papillenrande sich nicht vorfindet, so muss sie allmälig gegen den verlängerten verticalen Meridian der Papille sich abflachen und abnehmen. Dort wird also der Reflexstreifen verschwinden.

Die Verdoppelung des Reflexstreifens erklärt sich in ganz analoger Weise wie der doppelte Reflexstreifen auf den Flüssigkeitssäulen in den Versuchen mit dem künstlichen Auge (Siehe Seite 91, 92). Der doppelte Reflexstreifen ist immer nur dann zu sehen, wenn der Reflexstreifen sehr schmal ist. Die beiden Streifen sind dann immer als ziemlich feine glänzende Linien sichtbar. Ihre Entfernung von einander ist auch nicht bedeutend, so dass das ganze von der spiegelnden Fläche gelieferte Bild klein sein muss. Daraus kann man auf eine starke Wölbung der reflectirenden Fläche schliessen. Von einer solchen Fläche mit ziemlich kurzem Krümmungsradius wird ein relativ grösserer Theil auf dem Uebergange von der convexen Fläche am Rande der Papille in die Krümmung der übrigen Netzhautoberfläche Platz haben. Man wird dann in ähnlicher Weise wie bei den Versuchen mit dem künstlichen Auge die Verdoppelung sehen. Es können eben die von

der reflectirenden Fläche ausgehenden und das verzogene Bild des leuchtenden Ringes in der Pupille bildenden Lichtstrahlen bei der Kleinheit des Bildes und der relativen Ausdehnung der spiegelnden Flächen so zur Pupille verlaufen, dass der Beobachter das ganze Bild des Ringes sehen kann. Dieses entspricht aber bei der Verzerrung durch die concavcylindrische spiegelnde Fläche einer doppelten Linie. Solche doppelte Reflexstreifen liegen auch nie sehr weit vor der Retina, die Refractionsdifferenz zwischen ihnen und der Netzhaut ist nur gering.

Verschiebt man den Kopf und den Spiegel zur Seite, so verschwindet von den beiden Streifen jener, der der Richtung der Bewegung entgegengesetzt liegt. Es erklärt sich dies in ganz analoger Weise wie das Verschwinden des einen der beiden Streifen auf den Flüssigkeitssäulen bei den Versuchen mit dem künstlichen Auge (Siehe Seite 92). Dass aber nicht wie in dem letzteren Falle beispielsweise bei der Verschiebung des Spiegels gegen die Nasenseite des untersuchten Auges der nasalwärts liegende Streifen, sondern der temporalwärts gelegene verschwindet, ist ein directer und zwingender Beweis dafür, dass der Reflexbogenstreifen ein verkehrtes Bild der Pupille ist, somit nicht an einer convexen, sondern an einer concaven Fläche entstehen muss.

Warum findet sich aber die besprochene concave Fläche, an der der Reflexbogenstreifen entsteht, gerade bei Myopie oft in einer so bedeutenden Entwickelung vor? Aus Fig. 27 ist zu ersehen, dass der nasale Rand der Papille etwas weiter vorn liegt als der temporale, so dass die Papille deutlich schräg gestellt ist. Es beruht dies auf der zuerst von Jaeger dann von Weiss beschriebenen Verziehung der Papille. Mit der Papille ist aber auch der ganze Scleroticalcanal verzogen und dies soll nach Stilling das Augenspiegelbild des Conus zur Folge haben, indem man dann durch die marklosen Sehnervenfasern nicht nur die Lamina cribrosa, sondern auch auf die seitlich ausgezogene Wand des Scleroticalcanales hineinsieht.

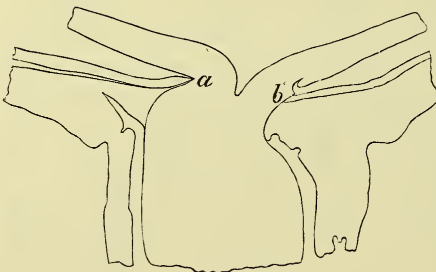


Fig. 28.


Fig. 29.

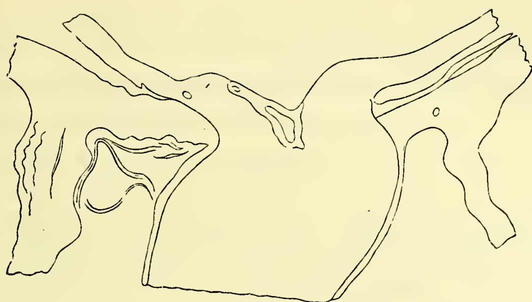


Fig. 30.

In Fig. 28, 29 und 30 sind diesbezügliche anatomische Befunde, die Stilling (56) abgebildet hat, verkleinert wiedergegeben. Fig. 28 (l. c. Taf. VI, Fig. 1) stellt den Längsschnitt der Papille eines Auges mit Myopie 5 D dar, bei welchem die Papille in die Länge gezogen erschien. Der Scleroticalcanal ist hier schräg temporalwärts verzogen. Auch hier sehen wir den nasalen Rand der Papille (a) weiter vorrücken als den temporalen (b). Man kann aus dem Befunde schliessen, dass die innere Oberfläche der Retina aus der starken Convexität am inneren Rande der Papille durch eine stärkere concave Krümmung in die allgemeine Krümmung der übrigen Netzhaut übergehen muss. Das Verhalten ist also ganz ähnlich jenem welches in der Fig. 27 zu sehen ist.

Fig. 29 (l. c. Taf. VI, Fig. 2) ist der Längsschnitt des Opticus von einem Auge mit einer quer verzogenen Papille. Hier ist der Scleroticalcanal ebenfalls verzogen, jedoch in anderer Weise, nämlich nur der der lamina cribrosa zunächst liegende Theil. Es fehlt weiter die schräge Stellung der Papillenoberfläche und natürlich auch die von den Nervenfasermassen am inneren Rande der Papille gebildete starke Convexität. Diese ist ja dadurch bedingt, dass die Nervenfasern aus ihrem, im Scleroticalcanale temporalwärts gerichteten Verlaufe um den scharf ausgezogenen nasalen Rand der inneren Oeffnung des Scleroticalcanales sich plötzlich gegen die Nasenseite herumschlagen müssen. In einem solchen Auge wie das in Fig. 29 abgebildete, wird also keine Gelegenheit zum Auftreten eines Reflexstreifens gegeben sein, da die concave Fläche unweit vom inneren Papillenrande fehlt.

Fig. 30 (l. c. Taf. IX, Fig. 1) gibt den Befund an der Papille eines Auges mit hochgradiger Myopie und ringförmigem Conus wieder. Die Papille ist sehr stark auseinandergezerrt und ebenso der Scleroticalcanal, so dass dieser Letztere sogar die umgekehrte Form des normalen Canales zeigt. Er ist nach innen zu breiter. Auch da fehlt infolge dessen der eigenthümliche Verlauf der Sehnervenfasern von der Papille gegen die nasale Hälfte der Netzhaut und mit ihr die concave Fläche, die zur Bildung des Reflexbogenstreifens Anlass gibt.

In der vorliegenden Auseinandersetzung ist auch schon die Erklärung dafür enthalten, dass der Reflexbogenstreifen sich bei schräg liegendem Conus an dem dem Conus diametral gegenüberliegenden Rande der Papille findet. Verläuft z. B. der Scleroticalcanal schräg nach aussen und unten durch die Sclera, so liegt der Conus aussen unten, der längere Durchmesser der ovalen Papille von aussen oben nach innen unten, die Convexität der sich um den Papillenrand legenden Nervenfasern wird dann innen oben am stärksten sein. An dieser Stelle liegt dann auch die concave, zur Erzeugung des Reflexbogenstreifens geeignete Stelle.

Weiss hat die Thatsache, dass sich der Reflexbogenstreifen bei hochgradiger Myopie meist nicht mehr findet auf eine Zunahme der Glaskörperablösung zurückgeführt. Dadurch soll sich die Grenzlinie der Glaskörperablösung immer mehr abflachen und damit der Reflexbogenstreifen undeutlicher werden, »bis schliesslich die Grenzlinie horizontal oder doch nahezu horizontal (bezogen auf die Horizontalschnitte) querüber durch den hinteren Bulbusabschnitt zieht und damit der Reflexbogenstreifen verschwindet, indem die für seine Entstehung günstigen Reflexbedingungen nicht mehr bestehen.«

Ich glaube, dass die Erklärung für das Verschwinden des Reflexstreifens bei hochgradiger Myopie eben in den oben erwähnten anatomischen Befunden gelegen ist. Wenn bei hochgradiger Myopie der Scleroticalcanal nicht mehr in einer Richtung, sondern in der in Fig. 30 abgebildeten Weise verzogen ist, dann fehlt die für die Bildung des Reflexbogenstreifens nöthige Krümmung der inneren Netzhautoberfläche in der Nähe des inneren Papillenrandes.

Weiss sah nicht selten bei Kindern, die aus myopischen Familien stammten, aber zur Zeit noch hypermetropisch waren, die übrigen Veränderungen an der Papille noch sehr wenig, den Reflexbogenstreifen aber sehr deutlich entwickelt. Er schreibt dem Reflexbogenstreifen daher eine besondere Bedeutung in der Richtung zu, dass man durch ihn erkennen könne, dass ein Auge begonnen habe, sich am hinteren Pole auszubauchen. Weiss führt auch einen solchen Fall an, den er im weiteren Verlaufe zu beobachten Gelegenheit hatte.

Da nun die von mir gegebene Erklärung den Reflexbogenstreifen ebenfalls, aber nur in anderer Weise mit der Myopie in Zusammenhang bringt, so bleibt die Wichtigkeit des Befundes in dieser Beziehung unangetastet. Immerhin wird man sich jedoch gegenwärtig halten müssen, dass auch bei ganz normalen Augen, bei denen gar keine Verziehung der Papille vorliegt, ein Reflexbogenstreifen auftreten kann, wenn die innere Hälfte der Papille prominenter ist. Dass dies als angeborene Anomalie vorkommt, ist ja bekannt. Ich will hier nur an die anatomischen Befunde von

Schweigger*) und einen ophthalmoskopischen Befund von Purtscher**) erinnern. In der That habe ich den Reflexbogenstreifen öfter bei emmetropischen Augen gesehen, ohne dass an der Papille die geringsten Zeichen von Verziehung vorhanden waren.

Noch wäre das Vorkommen eines dem Reflexbogenstreifen ähnlichen Befundes in pathologischen Fällen zu erwähnen. Bei Neuritis optica mit starker Schwellung der Papille, der sogenannten Stauungspapille, kann man nicht selten bei jugendlichen Individuen in einiger Entfernung vom inneren Papillenrande eine Anzahl von hellglänzenden ringförmigen Reflexen wahrnehmen, die auch öfter concentrisch in einander liegen und in ihrer Aufeinanderfolge im Ganzen gleich dem Reflexbogenstreifen eine sichelförmige Anordnung concentrisch zum Papillenrande haben. Sie bewegen sich verkehrt bei Verschiebungen des Spiegels vor dem Auge und liegen vor der Netzhautebene. Mit dem Helmholtz'schen Spiegel sind sie nicht sichtbar. Im verkehrten Bilde fliessen sie zu einem breiten glänzenden Streifen zusammen, der dann eben einen zum Papillenrand concentrischen Bogen bildet und bei Verschiebungen der Linse oder des Spiegels dieselben Ortsveränderungen zeigt wie überhaupt die Netzhautreflexe. Die Entfernung dieser Reflexe von der Papille ist grösser als die des Reflexbogenstreifens, nämlich etwa 2—3 Papillendurchmesser.

Es scheint mir nicht zweifelhaft, dass diese Erscheinung auch durch concave spiegelnde Flächen hervorgerufen wird, die eben dort liegen, wo die in der Umgebung der geschwollenen Papille ebenfalls noch mehr nach innen vorragende innere Oberfläche der daselbst (durch Oedem) verdickten Netzhaut in die Wölbung der übrigen Netzhaut übergeht. Diese einzelnen concaven Flächen werden wohl durch den Verlauf der grösseren Netzhautgefässe begrenzt, wie man dies manchmal direct sehen kann. Auch beim Reflexbogenstreifen kommen, wie erwähnt, stellenweise halbringförmige oder ringförmige Reflexe, im Verlaufe des ganzen Reflexstreifens aber nicht in dieser schönen Ausbildung zu Stande, wie man sie bei Stauungspapille sehen kann.

Knies hat in einem Falle nach einer Contusion einen Reflexbogenstreifen gesehen und bezieht ihn auf eine traumatische Glaskörperabhebung. Es wird aber ausdrücklich bemerkt, dass der Sehnerv hyperämisch war. Hat es sich also in diesem Auge wirklich um einen erst nach der Verletzung aufgetretenen Reflexbogenstreifen gehandelt, so wäre dies wohl

*) Schweigger, Vorlesungen über den Gebrauch des Augenspiegels. 1864. Taf. I. Fig. 1 und 2.

**) Purtscher, Eine eigenthümliche Anomalie des Sehnerven. Archiv f. Augenheilkunde XII.

durch eine leichte Schwellung des Sehnerven zu erklären, wodurch in der Umgebung der Papille die Bedingungen für die Entstehung des Reflexstreifens zu Stande kämen.

Das Resultat unserer Untersuchung ist also folgendes:

Der von Weiss beschriebene Reflexbogenstreifen entsteht nicht durch Reflex an der Begrenzungsfläche des abgehobenen Glaskörpers, sondern durch Reflex an einer concaven, unweit vom inneren Papillenrande vorfindlichen Krümmung der inneren Netzhautoberfläche und stellt ebenso wie die übrigen Netzhautreflexe ein verkehrtes, verzerrtes Bild jenes Theiles der Pupille dar, welcher für diese reflecdirende Fläche das leuchtende Object ist.

Der Umstand, dass diese reflectirende Fläche in besonserer Ausbildung gerade bei Myopie vorkommt, erklärt das häufige Vorkommen des Reflexbogenstreifens bei Myopie.

III. Abschnitt.

Zur Anatomie der Netzhaut in der Gegend der Macula lutea.

Reflexe an der Netzhaut in der Gegend der Macula lutea.

Bevor wir die ophthalmoskopischen Lichtreflexe in der Gegend der Macula besprechen, erscheint es, um dann eine Erklärung derselben versuchen zu können, nothwendig, auf die Anatomie der Netzhaut in der Gegend der Macula einzugehen, mit specieller Berücksichtigung der Verhältnisse der inneren Oberfläche der Retina — also des Reliefs, welches die Netzhaut in der Maculagegend an ihrer inneren Fläche darbietet. Dabei soll auch der Dickenverhältnisse der einzelnen Netzhautschichten daselbst Erwähnung geschehen.

Die Macula misst, soweit die gelbe Färbung, welche aber in den peripheren Theilen der Macula nur sehr schwach ist, reicht, im horizontalen Durchmesser etwa 2 *mm*, im verticalen weniger, sie ist somit queroval. Der Abstand der Fovea centralis von der Mitte der Papille beträgt nach Landolt*) 0·3915 *mm.* Ferner liegt die Fovea centralis unterhalb des horizontalen Meridians der Papille (0·785 *mm*).

Bekanntlich zeigt die Netzhaut in dem peripheren Theile des gelben Fleckes eine Verdickung, während sie in der Fovea centralis sehr dünn ist. Die Verdickung wird hauptsächlich dadurch hervorgerufen, dass die Ganglienzellenschichte sehr bedeutend an Dicke zunimmt. Innerhalb des Bereiches der Macula verdünnt sich die Netzhaut dann wieder, und ist am Grunde der Fovea centralis am dünnsten. Die Angaben über die Stelle, wo die Verdünnung beginnt, gehen aber ziemlich weit auseinander. Die Gestalt der Fovea ist ebenso wie die der Macula queroval.

---

*) E. Landolt, die directe Entfernung zwischen Mac. lut. und N. opticus. Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften 1871.

H. Müller*) sagt, dass die Einsenkung der Fovea an einem gut conservirten menschlichen Auge im verticalen Meridian 0·2 *mm* vom Mittelpunkte der Fovea beginnt. Nach Henle**) schwankt der Durchmesser der Fovea von 0·2—0·4 *mm*.

Wadsworth***) fand bei dem Auge eines 4-jährigen Mädchens mit totalem Hornhautstaphylom, wo der Glaskörper albuminös verändert war, so dass sich an dem mit Müller'scher Flüssigkeit gehärteten Präparate gar keine Plica centralis vorfand, den Durchmesser der Fovea im horizontalen Durchmesser mehr als 1 *mm*, wenn man die Fovea dort beginnen lässt, wo die Netzhaut beginnt sich zu verdünnen, während der Durchmesser der Fovea nur 0·4 *mm* beträgt, wenn man bloss den tieferen Theil, dort wo der Abhang steiler ist, zur Fovea rechnet.

Kuhnt†) untersuchte ein Auge, das vor der Enucleation sicher centrales Sehen besessen hatte und das ebenfalls keine Faltung der Netzhaut in der Maculagegend zeigte. Auch hier war durch eine infolge von Veränderungen im vorderen Bulbusabschnitte entstandene, eiweissartige Consistenz des Glaskörpers die Retina bei der Härtung in der Müller'schen Flüssigkeit gleichsam in vivo eingebettet, indem auch zwischen Aderhaut und Netzhaut eine dünne Schichte gleichartigen Exsudates sich gelagert hatte. (Auch von zwei anderen Augen konnte Kuhnt ähnliche Schnitte durch die Fovea erhalten.) Kuhnt unterscheidet an der Fovea den Fundus der Fovea und die Böschung (clivus), deren Neigung im horizontalen Durchmesser 40—50° beträgt. Am Fundus der Fovea findet sich eine sehr kleine, die medialsten 5—6 Zapfen deckende Depression, welche Kuhnt als Foveola fundi bezeichnet. Der Fundus foveae misst im grössten horizontalen Durchmesser 0·2 *mm*, im verticalen 0·15 *mm*. Die Einsenkung der inneren Retinaloberfläche beginnt nach Kuhnt in der Entfernung von 0·135 *mm* von der Mitte der Grube.

Schwalbe††) gibt die Zeichnung eines Präparates von Kuhnt, in welcher der Winkel, den der Clivus mit der äusseren Oberfläche der Netzhaut bildet, nicht ganz 20° ist. Ferner beginnt hier der Clivus noch etwas peripher von der Stelle, wo die Nervenfaserschicht aufhört. Diese Stelle liegt aber nach dem Texte in der Entfernung von 0·4 *mm* vom Centrum der Fovea.

---

*) H. Müller, anatom. physiol. Untersuchungen über die Retina des Menschen und der Wirbelthiere. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie von Siebold und Müller 1856 (Beckers Sammlung S. 52).

**) Henle, Handbuch der Anatomie II.

***) Wadsworth, The fovea centralis in man. Beiträgen zur Ophthalmologie, Festschrift zu Ehren Horners 1881.

†) Kuhnt, über den Bau der Fovea centralis des Menschen, Heidelberger Sitzungsbericht 1881.

††) Schwalbe; Lehrbuch der Anatomie des Auges. 1887.

Vergleicht man die Contouren der inneren Oberfläche der Netzhaut, wie sie sich auf dieser Abbildung nach Kuhnt auf einem Schnitte durch die Macula ergeben, mit dem Bilde von Max Schultze*), so ergibt sich ein erheblicher Unterschied. Während bei M. Schultze der Abfall der inneren Oberfläche der Retina in der Fovea unter einem Winkel von etwa 40° erfolgt, wäre er in dem Präparate von Kuhnt, von dem Schwalbe eine Abbildung gibt, nur kaum 20°. Es muss also auch der Durchmesser der ganzen vertieften Stelle grösser sein als bei M. Schultze. Doch wird von M. Schultze ausdrücklich erwähnt, dass die Retina von einem normalen Auge stammt, in welchem das Relief gegen den Glaskörper zu durch die ersten Anfänge einer Plica verändert war.

Borysikiewicz**) zeichnet den Abfall der inneren Fläche der Netzhaut gegen den Grund der Fovea unter einem Winkel von etwa 40°.

Während es in Betreff der einzelnen Schichten der Netzhaut schon lange bekannt ist, dass in der Maculagegend die Nervenfaserschicht dünner wird und in einem gewissen Gebiete der Macula vollständig fehlt, ist erst von Kuhnt (l. c.) die Angabe gemacht worden, dass am Grunde der Fovea in dem sogenannten Fundus foveae alle Theile der sogenannten Gehirnschicht (Schwalbe) mit Ausnahme der Membrana limitans interna und einer sehr dünnen Lage (1 μ) fein reticulirter Substanz fehlen. Es verbleibt daselbst also nur die Neuroepithelschichte, die Schichte der Sehzellen, bestehend aus der äusseren Körnerschicht mit den Zapfenfasern (äussere Faserschicht von Henle), der Membrana limitans externa und der Stäbchenzapfenschicht. H. Müller hatte gefunden, dass blos die granulöse Schicht (innere reticuläre Schicht) im Bereiche der Fovea ganz verschwinde, während die anderen Schichten sich daselbst blos erheblich verdünnen. Auch die Nervenfaserschicht hört übrigens nach Kuhnt bereits früher auf, als dies von anderen Beobachtern angegeben wird, nämlich 0·4 *mm* von der Mitte der Fovea.

Nach Kuhnt verdünnt sich die Ganglienzellenschichte, die an ihrer dicksten Stelle, wo 7—9 Lagen von Zellen übereinanderliegen, 60—80 μ dick ist, dort wo die Einsenkung zur Fovea beginnt. Sie verschwindet dann unweit vom Rande des Fundus foveae. Die innere und äussere reticuläre Schicht zeigen im Gebiete der Macula nur eine geringe Verdünnung und bilden schliesslich in der Mitte der Fovea jenen feinen Saum von reticulirter Substanz.

Das von Heinrich Müller beschriebene frühere Aufhören der inneren granulirten Schicht (innere reticuläre Schicht), das Confluiren der Ganglienzellenschicht und der Körnerschicht (äussere gangliöse Schicht Henle) zu einer dünnen Schichte — dies wurde auch von Wadsworth

*) M. Schultze, Archiv f. mikroskop. Anatomie, II. Bd. 1866.

**) Borysikiewicz, Untersuchungen über den feineren Bau der Netzhaut 1887.

in ähnlicher Weise gefunden — konnte Kuhnt an seinen Präparaten ausschliessen. Er sah aber auch die Körnerschicht und die äussere granulirte Schicht vollständig am Grunde der Fovea verschwinden, nachdem sie sich allmälig verdünnt hatten. Dieses Verschwinden der einzelnen Schichten findet in der Weise statt, dass dieselben successive in der Reihenfolge von innen nach aussen aufhören.

Eine für das Gebiet der Macula charakteristische Schichte ist die äussere Faserschicht von Henle, die aus den Zapfenfasern besteht und also einen Theil der Seh-Zellenschicht bildet und sich in der Maculagegend zwischen die äussere reticuläre Lage und die äussere Körnerschicht einschiebt. Sie erreicht in den mittleren Theilen der Macula eine sehr bedeutende Dicke, nach Henle 0·03 — 0·04 *mm*, nach Wadsworth 0·5—0·6 *mm* vom Centrum der Fovea 0·08 *mm*, während sie mehr gegen das Centrum an Dicke abnimmt, so dass daselbst keine deutliche Faserschicht mehr sich findet.

Die äusseren Körner (Zapfenkörner) fand Kuhnt ganz in der Mitte der Fovea nur in einfacher Lage. Wadsworth dagegen beschreibt eine Verdünnnng der äusseren Körnerschicht gegen die Fovea zu, während sie in der Fovea selbst wieder dicker wird und in der Mitte der Fovea fast die doppelte Dicke erreichen soll. Die äusseren Körner rücken ferner von der Membrana limitans externa in der Mitte der Fovea ab. Die Limitans externa verlauft aber, wie Merkel*) gegen M. Schultze angibt, vollkommen geradlinig, nicht nach innen vorgebaucht. Dies wurde auch von Kuhnt bestätigt.

Die Zapfen der Fovea sind viel schmächtiger und länger als in den übrigen Theilen der Netzhaut. Sie haben nach Kuhnt eine Länge von 60 — 75 μ, einschliesslich der blassen, zumeist in den Pigmentepithelien steckenden Spitzen. (Merkel gibt ihre Länge mit 50, M. Schultze mit 100 μ an.)

Die Dicke der Retina an der dünnsten Stelle in der Fovea ist nach Wadsworth am Grunde der Fovea 0·17, während sie nach Kuhnt unter der Foveola fundi nur mehr 0·08 beträgt.

Um zu erfahren, ob die in der Maculagegend sichtbaren Lichtreflexe der Netzhaut sich durch eine Reflexion an der inneren Fläche der Netzhaut erklären lassen, war es zunächst nothwendig, noch weitere anatomische Untersuchungen bezüglich des Reliefs der Netzhaut gegen den Glaskörper zu machen. Es standen mir hiezu Präparate von 5 normalen, völlig frischen Augen zur Verfügung. Im Folgenden will ich eine

*) Ueber die Macula lutea des Menschen und die Ora serrata einiger Wirbelthiere 1870.

Beschreibung der gewonnenen Befunde, sowohl in Bezug auf die Dickenverhältnisse der Netzhaut im Ganzen, als auch ihrer einzelnen Schichten geben.

Fall I.

Fig. 31.

Der Bulbus stammte von einem älteren Manne mit einem Orbitaltumor. Das Auge war sehfähig und vollständig normal. Unmittelbar nach der Enucleation wurde dasselbe von Herrn Dr. Salzmann im Aequator durchschnitten und der hintere Abschnitt in $3^{1}/_{2}{}^{0}/_{0}$ Salpetersäurelösung für 6 Stunden gelegt, hierauf ausgewässert und in Alkohol nachgehärtet. Die Retina war vollständig in situ geblieben, die Fovea als Grube deutlich erkennbar, nur eine schwache Andeutung einer Falte zu sehen. Herr Dr. Salzmann bettete die Netzhaut sammt der Chorioidea aus der Gegend der Macula in Celloidin ein und legte Schnitte durch die Macula in horizontaler Richtung.

Die Untersuchung der Präparate ergab die folgenden Verhältnisse: Der Durchmesser derjenigen Stelle, an welcher die Netzhaut verdünnt war, betrug 2 *mm*, gemessen von der Stelle an der temporalen Seite, an welcher die Einsenkung beginnt, zu dem analogen Punkte an der Nasenseite. Die Grube wird von einem Walle verdickter Netzhaut umgeben, welcher an der nasalen Seite deutlich dicker ist als an der temporalen. Der Abfall der inneren Netzhautfläche gegen den Grund der Fovea findet sehr allmälig statt, so dass der Winkel des Clivus mit der äusseren Netzhautoberfläche an der nasalen Seite etwa 10—12°, an der temporalen sogar noch weniger mass. Der Durchmesser des Fundus fo eae ist infolge dieses sehr allmäligen Abfalles schwer zu bestimmen, doch ist er ungemein gross und beträgt etwa 0·7 *mm*. In der Mitte der nahezu planen Stelle waren die Schnitte derartig eingerissen, dass daselbst die äusseren Enden der Zapfen nicht in demselben Niveau lagen, wie an den anderen Stellen, vielmehr etwas weiter nach vorn gerückt waren. Dadurch wurde eben bewirkt, dass auch dort die innere Oberfläche der Netzhaut plan war. Denkt man sich die Zapfen daselbst an ihren richtigen Platz zurückgelegt, so resultirt eine kleine Vertiefung an der inneren Netzhautoberfläche, welche nach

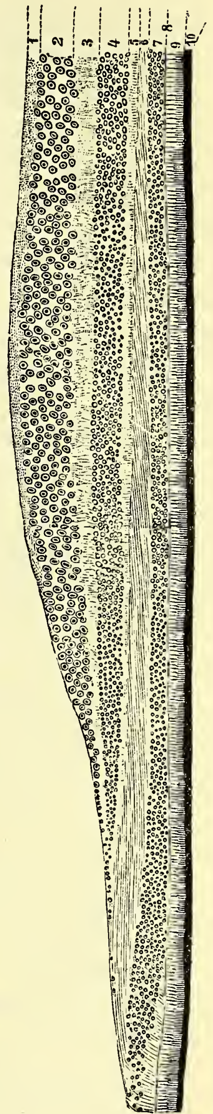


Fig. 31.

einer natürlich nur approximativen Bestimmung 0·12 *mm* im Durchmesser haben würde. (In Figur 31 ist der Einriss der Retina nicht gezeichnet und die Retina daselbst nicht völlig reponirt.) Jene Stelle, welche man nach dem schrägen Verlauf der Zapfenfasern als die Mitte der Fovea ansehen muss, liegt nicht deutlich excentrisch in der Netzhautgrube, sondern ziemlich genau in der Mitte.

Die Dickenverhältnisse der Retina im Ganzen betreffend war 2·5 *mm* von der Mitte der Fovea an der temporalen Seite die Dicke der Netzhaut 0·25 *mm*; an der dicksten Stelle also dort, wo dann die Einsenkung zur Fovea beginnt, innen 0·275 *mm*, aussen 0·245 *mm*. An einer Stelle 1·8 *mm*, von der Mitte der Fovea nach der Schläfenseite — so weit reichte in dieser Richtung der Schnitt — hatte die Retina eine Dicke von 0·215 *mm*. Am Fundus foveae mass sie 0·1 *mm*, dort wo die kleine Vertiefung in der Mitte der Fovea (Foveola fundi) vorausgesetzt werden muss, etwa 0·085. Diese letztere Messung war infolge der Zerreissung der Netzhaut daselbst nur ungenau möglich. Diese Maasse verstehen sich ohne das Pigmentepithel, das deshalb nicht mitgemessen wurde, weil es sich nicht an allen Stellen im Zusammenhange mit der übrigen Retina vorfand. Es war vielfach an der zum Theile von der Retina abgehobenen Chorioidea sitzen geblieben. Die Dicke des Pigmentepithels im Ganzen sammt den Pigmentfortsätzen wurde etwa 15 μ gefunden.

Die einzelnen Schichten verhalten sich wie folgt: Im Bereiche des Fundus foveae fehlen sämmtliche Schichten vollständig mit Ausnahme der Limitans interna, ferner der äusseren Faserschicht (Henle), der äusseren Körnerschicht, der Membrana limitans externa und der Schicht der Zapfen, also jener Schichten, welche von Schwalbe unter der Bezeichnung Neuroepithelschicht zusammengefasst wird.

Die Nervenfaserschichte (Fig. 31, 1) verschwindet entsprechend dem viel grösseren Durchmesser der ganzen Grube auch früher als dies Kuhnt angibt, nämlich schon bei 0·7 *mm* von der Mitte der Fovea an der Nasenseite, an der Schläfenseite sogar noch früher bei 0·8 *mm*. Sie ist also an der dicksten Stelle der Netzhaut noch vorhanden, freilich nasalwärts und temporalwärts von verschiedener Dicke. Während an der Nasenseite in dieser Gegend die Dicke der Nervenfaserschicht 20 μ beträgt, ist sie an der Schläfenseite nur 10 μ dick oder noch weniger.

Die Ganglienzellenschicht (Fig. 31, 2) misst 2·5 *mm* von der Mitte der Fovea an der Nasenseite 20 μ. (An derselben Stelle hat die Nervenfaserschicht 65 μ.) Die dickste Stelle der Ganglienschichte an der Nasenseite hat eine Dicke von 80—85 μ, an der Schläfenseite nur 70—75 μ. Von da an gegen das Centrum der Fovea verschmächtigt sich die Ganglienschichte sehr rasch und hört nasalwärts von der Mitte der Fovea

in einem Abstande von 0·35 *mm* auf, an der Schläfenseite aber schon früher. Hier ist der Punkt, wo sie verschwindet etwa 0·4 *mm* von der Mitte der Fovea entfernt.

Die innere reticuläre Schicht (Fig. 31, 3) die im Gebiete der Anschwellung der Netzhaut am Rande der Macula keine erhebliche Verdickung erfahren hat und daselbst, sowie noch weiter peripher 23 – 24 μ misst, nimmt gegen die Mitte der Fovea ziemlich langsam an Dicke ab und verschwindet fast genau an derselben Stelle wie die Ganglienzellenschicht, trennt aber diese Schicht, allerdings nur durch einen äusserst zarten Streifen, von der Körnerschicht (Fig. 31, 4), welche noch etwa 35—39 μ weiter gegen das Centrum reicht. Diese Schichte misst 2·5 *mm* von der Mitte der Fovea an der Nasenseite 40 μ; an der dicksten Stelle der Netzhaut, sowohl an der Schläfen- als an der Nasenseite 55 μ.

Eine fein reticulirte Substanz in der Dicke von 3—6 μ ist noch auf der Zapfenfaserlage am Fundus foveae zu finden. Auch dort, wo die Körnerschicht bereits als Schichte völlig aufgehört hat, liegen in dieser reticulirten Substanz noch spärliche Körner hie und da verstreut.

Die äussere reticuläre Schicht (Fig. 31, 5) erfährt im Maculagebiete keine deutliche Verdickung, wird schon etwas vor der Anschwellung der Netzhaut immer dünner und hört etwas vor jenem Punkte auf, wo die Körnerschicht verschwindet. Einen Uebergang dieser Schicht in den Saum von reticulirtem Gewebe in der Mitte der Fovea konnte ich nicht sehen.

Die Henle'sche äussere Faserschicht (Zapfenfaserlage) (Fig. 31, 6) beginnt sich als distincte Schichte an der nasalen Seite in der Entfernung von 2·2 *mm* von der Mitte der Fovea zu zeigen, während sie an der Schläfenseite, da die Schnitte dort nicht so weit in die Peripherie reichen, noch am Ende des Schnittes als deutliche Schichte zu sehen ist. Die äussere Faserschichte wird gegen die Mitte der Fovea zuerst immer dicker und erreicht ihre grösste Dicke mit 39—42 μ in 0·5 *mm* von der Mitte der Fovea an der Nasenseite und mit 33—36 μ in 0·42 *mm* an der Schläfenseite. Von da an verdünnt sie sich gegen die Mitte wieder u. zw. sehr rasch. In einem Bereiche von etwa 0·21 *mm* von der Mitte der Fovea existirt überhaupt keine äussere Faserschicht mehr.

Die Fasern der äusseren Faserschicht haben einen gestreckten, geradlinigen, nicht welligen, zur äusseren Oberfläche der Retina fast parallelen Verlauf. An der Grenzlinie zwischen äusserer Faserschicht und Zapfenkörnerschicht sieht man die Zapfenfasern vielfach unter leicht geschwungenen Bogenlinien in die letztere Schicht abbiegen. Auch an jenen Stellen, wo die äussere Faserschicht nur mehr sehr dünn ist, verlaufen die Fasern in ihr ebenfalls fast parallel zur äusseren Oberfläche der Retina; ferner kann man hier, ebenso wenig wie an den dicken Stellen der äusseren

Faserschicht Zwischenräume zwischen den einzelnen Fasern bemerken. Dieselben liegen ganz dicht aufeinander.

Die sogenannte äussere Körnerschicht (Fig. 31, 7), im Maculabereich die Schichte der Zapfenkörner, nimmt sehr allmälig von den peripher von der Netzhautanschwellung liegenden Theilen der Retina bis zu einem Punkte, der sowohl an der Nasen- als an der Schläfenseite ungefähr 0·7 *mm* von der Mitte der Fovea entfernt ist, an Dicke ab. An dieser dünnsten Stelle misst die Zapfenkörnerschicht an der Schläfenseite 18 μ, die Zapfenkörner liegen dort in etwa 3—4facher Schichtung übereinander. An der Nasenseite ist die dünnste Stelle der Schicht aber viel dünner, auf eine kurze Strecke liegt sogar daselbst nur eine Schicht von Zapfenkörnern. Gegen die Mitte der Fovea zu lagern sich die Zapfenkörner dann wieder immer zahlreicher über einander, so dass die Zapfenkörnerschicht daselbst wieder an Dicke gewinnt. Ungefähr 0·18 *mm* von der Mitte der Fovea misst die Zapfenkörnerschicht 39—42 μ und die Zapfenkörner liegen in 6—7 Lagen über einander. Schon hier sind sie aber nicht mehr so dicht bei einander wie sonst, sondern werden durch die schräg nach aussen zu verlaufenden Zapfenfasern vielfach getrennt. Im Bereiche des kleinen centralen Grübchens ist nur eine einfache bis doppelte Lage von Zapfenkörnern vorhanden. Man kann aber nicht direct von Lagen sprechen, denn die Zapfenkörner liegen hier nicht regelmässig nebeneinander, sondern bald etwas mehr gegen die innere, bald etwas gegen die äussere Fläche der Retina zu. Von der Stelle, wo die Zapfenkörnerschicht sich gegen die Mitte wieder verschmächtigt, rückt dieselbe von der Limitans externa ab, so dass dort ein Zwischenraum entsteht, welcher nur von den Zapfenfasern eingenommen wird.

Die Membrana limitans externa (Fig. 31, 8) verläuft, wenn wir uns die mittlere eingerissene Partie in situ denken, vollständig geradlinig, sie entfernt sich weder im Bereiche der Macula, noch der Fovea selbst, mehr als sonst von der Pigmentepithelschicht.

Die Zapfen (Fig. 31, 9) sind auch im Bereiche des Fundus foveae nicht erheblich länger als an anderen Stellen der Netzhaut, sie messen 38—41 μ, die Breite ihrer inneren Glieder ist 3—3·5 μ. Es ist hierin also ein bedeutender Unterschied gegen die ebenfalls so abweichenden Angaben in der Literatur; während nach H. Müller die Länge der Zapfen in der Fovea 60 μ ist, fand sie M. Schultze über 100 μ lang (sammt dem Pigmentepithel), Merkel 50 μ und Kuhnt 60—75 μ, Wadsworth 70 μ, Schaffer*) in der Mitte der Fovea 60 μ in 0·99 *mm* von der Mitte der Fovea 30 μ, u. zw. nimmt nach Schaffer die Länge der

*) J. Schaffer, die Färbung der menschlichen Retina mit Essigsäure-haemotoxylin. Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Bd. XCIX. Abth. III. Februar 1890.

Zapfen bis auf 0·66 *mm* nur um 10 μ ab, um dann rasch zu sinken. Ihre Dicke wird ebenfalls verschieden angegeben: Nach M. Schultze mit 2·8 μ (die Schrumpfung in der Müller'schen Flüssigkeit in Rechnung gezogen), nach H. Müller mit 1·5—2 μ, nach Merkel 3 μ, nach Kuhnt 2—2·5 μ, nach Wadsworth 2·5 μ. Welcker*) mass die Zapfen in der völlig frischen Netzhaut eines 64-jährigen Mannes und fand ihre Dicke 3·1—3·6 μ.

Die Entfernung von der Membrana limitans externa bis zur äusseren Begrenzung des Pigmentepithels (Fig. 31,10), wo dieses in Verbindung mit der Netzhaut erhalten war, betrug auch an den periphersten von der Fovea am weitesten temporalwärts entfernten Theilen der Schnitte nur 40—45 μ.

Noch wäre hervorzuheben, dass unsere Präparate die einzelnen Retinalelemente in ausgezeichnet schöner Erhaltung zeigten und dass nirgends, mit Ausnahme jener kleinen centralen Stelle eine Zerreissung der Schnitte oder eine Spaltung zwischen oder innerhalb der einzelnen Netzhautschichten stattgefunden hatte.

Fall II.

Das Präparat entstammt einem wegen eines Orbitaltumors enucleirten Auge, dessen hinterer Abschnitt ebenfalls in $3^1/_2$ $^0/_0$ Salpetersäure gehärtet und in Celloidin eingebettet worden war. Die Schnitte wurden von Herrn Doc. Dr. J. Schaffer durch den ganzen hinteren Theil des Bulbus im horizontalen Meridiane gelegt und mit Eosin-Haematoxylin gefärbt. Die Schnitte waren, da sie eben als Uebersichtspräparate angefertigt waren, ziemlich dick und wie man deutlich erkennen konnte, nicht senkrecht auf die Oberfläche der Retina gefallen. In dem mir von Herrn Dr. Schaffer freundlichst überlassenen Schnitte (einem der centralsten) war die Chorioidea temporalwärts von der Papille bis zur Fovea der Sclera anliegend, von der Fovea aber nach der Schläfenseite auf eine Strecke von etwa 8 *mm* von der Sclera abgehoben. Die Retina lag der Chorioidea von der Papille bis auf eine Entfernung von 8 *mm* vollkommen an. Auch noch weiter peripher bis über den Aequator hinaus fanden sich nur zwei kleine buckelförmige Ablösungen der Netzhaut.

Der Abstand der Fovea von der Mitte der Papille war 3·795 *mm*, der Durchmesser der verdünnten Stelle der Netzhaut in der Macula war 1·115 *mm*, der Winkel, unter dem der Clivus zum Fundus foveae abfällt, ist an der nasalen Seite etwa 27° und an der temporalen 20°, wie dies an einer in 25facher Vergrösserung angefertigten Photographie

---

*) Welcker, Untersuchung der Retinazapfen und des Riechhaut-epithels bei einem Hingerichteten. Zeitschrift für rationelle Medicin, Bd. XX. 1863.

des Präparates gefunden wurde. Es war aber kein eigentlich planer Fundus foveae zu constatiren. Vielmehr ging der in Form einer schiefen Ebene erfolgende Abfall gegen die Mitte der Fovea in eine nach vorn concave Krümmung der inneren Netzhautoberfläche über. Diese concave Stelle hat etwa 0·15—0·16 *mm* im Durchmesser. Da der Schnitt eine ziemliche Dicke hat und etwas schief gefallen ist, so kann man diese Configuration nur bei einer Einstellung wahrnehmen, während man bei anderen Einstellungen auf die aufsteigende Wand dieser concaven Fläche sieht. Die Grube wurde rings von einem verdickten Walle der Netzhaut umgeben, welcher jedoch an der Nasenseite dicker war als an der Schläfenseite.

Bezüglich der einzelnen Schichten sei nur erwähnt, dass die Nervenfaserschicht sich noch weit über den Punkt, wo die Einsenkung beginnt, nach dem Centrum der Fovea hin erstreckt. Sie fehlt im Bereiche von etwa 0·5 *mm* ganz. Die innere reticuläre Schicht verlor sich später und die Ganglienzellenschicht und die Körnerschicht flossen an jener Stelle, wo die concave Krümmung in der Mitte der Fovea begann, in eine dünne Schichte zusammen. Ob sämmtliche vor der Sehepithelschicht gelegenen Schichten in dem Grunde der Fovea gänzlich verschwinden, liess sich nicht mit Sicherheit feststellen.

Die Zapfenfaserschicht zeigt ebenfalls die starke Verdickung im mittleren Theile der Macula und verdünnt sich wieder im Centrum der Fovea. An der äusseren Körnerschicht kann man wahrnehmen, dass sie von der Peripherie her gegen einen etwa unter der dicksten Stelle der Netzhaut liegenden Punkt schmächtiger wird, um dann wieder gegen die Mitte der Fovea an Dicke zuzunehmen, wo sie eine papillenartige Erhebung nach innen zu bildet, theils durch die Verdickung der Schichte, theils durch das Abrücken der äusseren Körner von der Limitans externa, welche vollkommen geradlinig verläuft. Die Entfernung dieser Letzeren von der äusseren Begrenzung der Pigmentepithelschicht beträgt in der Mitte der Fovea, sowie an anderen Stellen der Macula 41—46 μ. Die Entfernung zwischen Membrana limitans externa und äusserer Grenze des Pigmentepithels nahm aber sehr allmälig gegen die Peripherie hin ab. 7·4 *mm* temporalwärts von der Fovea war der erwähnte Abstand immer noch 41—46 μ; 3·7 *mm* weiter peripher aber blos 34—36 μ; noch 3·7 *mm* weiter 30—32 μ und endlich von da um 2 *mm* mehr peripher — in einer Entfernung von etwa 20 *mm* von der Papille — nur 23—27 μ.

Fall III.

Bei einem 67jährigen Manne mit einem Epitheliom des inneren Canthus und der Conjunctiva bulbi wurde der normale Bulbus entfernt. Der Kranke hatte mit dem Auge mit + 2·0 D S $^{6}/_{12}$, der Augen-

spiegelbefund war vollständig normal. Die geringe Sehschärfe war offenbar nur durch die starke Secretion der Conjunctiva bedingt.

Das Auge wurde unmittelbar nach der Enucleation eröffnet und der hintere Bulbusabschnitt in $3^1/_2$ $^0/_0$ Salpetersäurelösung gelegt, nach sechs Stunden ausgewaschen und in Alkohol nachgehärtet. Dabei hatte sich die Netzhaut von ihrer Unterlage in der Maculagegend etwas abgehoben und war in von der Fovea ausstrahlende, zahlreiche, sehr feine radiäre Fältchen gelegt, doch konnte man die Fovea selbst als kleine Grube mit freiem Auge und mit der Loupe erkennen. Ich färbte den hinteren Abschnitt des Auges in toto mit Alauncarmin und Amoniakcarmin, schnitt dann die Macula sammt ihrer Umgebung heraus und bettete sie in Celloidin ein. Die Schnitte wurden entsprechend dem horizontalen Meridiane angelegt.

An den Schnitten waren natürlich die Folgen der Faltung der Netzhaut sehr deutlich erkennbar, es war besonders an vielen zu sehen, dass in der Mitte der Fovea die Netzhaut nach innen umgestülpt war, so dass die äussere Fläche der Retina eine Vertiefung zeigte, während die innere Fläche daselbst flach oder nur wenig nach innen vorgewölbt war. An einem Schnitte, der am Fundus foveae ganz plan war, betrug der Durchmesser jener Stelle, an welcher die Netzhaut an ihrer inneren Oberfläche eine Einsenkung zeigte, 1·26 *mm*. Der Abfall der inneren Netzhautoberfläche gegen die Fovea erfolgte unter einem Winkel von etwa 27° an der Nasenseite, an der Schläfenseite noch allmäliger. Der Fundus foveae mass 0·2 *mm* im Durchmesser.

Die Dicke der Netzhaut an der dicksten Stelle nasalwärts von der Mitte der Fovea war 0·3 *mm*, 2·3 *mm* von der Mitte der Fovea gegen die Papille war die Retina 0·25 *mm*, am Fundus foveae 0·17 *mm* dick. Am Grunde der Fovea fehlten sämmtliche Schichten mit Ausnahme der Zapfenschicht, der äusseren Körnerschicht und der Zapfenfaserschicht, in einem Bereiche in der Mitte, der etwas kleiner war als der Fundus, auch diese Letztere.

Die Nervenfaserschicht fehlte in einer Ausdehnung von etwa 1 *mm*. An der Ganglienzellenschicht war auffallend, dass sie weniger verdickt war als die Körnerschicht. Die Ganglienzellenschicht mass an ihrer dicksten Stelle im Bereiche der Netzhautanschwellung um die Fovea 55 μ, die Körnerschicht in derselben Gegend 70 μ. An der nasalen Seite flossen diese Schichten, unmittelbar vor ihrem Aufhören in einander, während sie an der temporalen Seite noch durch einen schmalen Streifen von der inneren reticulären Schichte getrennt waren.

Die äussere reticuläre Schicht war bereits vor der Stelle, wo die Körnerschicht verschwand, nicht mehr nachweisbar. Die Zapfenfaserschicht zeigte in einem Abstande von 0·225 *mm* von der Mitte der Fovea ihre

grösste Dicke mit 50—60 μ. Von da an wurde sie sehr schnell wieder dünner. Der Faserverlauf in ihr war nicht so gestreckt wie im I. Falle, sondern leicht wellig, ferner wenigstens in den mehr peripheren dünneren Theilen der äusseren Faserschicht nicht fast parallel zur äusseren Netzhautoberfläche, sondern ziemlich schräg zu derselben. Die äussere Körnerschichte zeigte noch peripher von der dicksten Stelle der Netzhaut nur eine geringe Verdünnung. Weiter gegen die Mitte nahm ihre Dicke wieder zu und in dem Fundus foveae bildete sie eine papillenartige Anschwellung. Ueber das Verhalten der Membrana limitans externa in der Fovea, sowie über die Lage der Zapfenkörner zu ihr konnte man wegen der an der dünnsten Stelle erfolgten deutlichen Einstülpung der Netzhaut nach innen und der hier sichtlich sehr in Unordnung gerathenen Schichtung nichts Bestimmtes ermitteln.

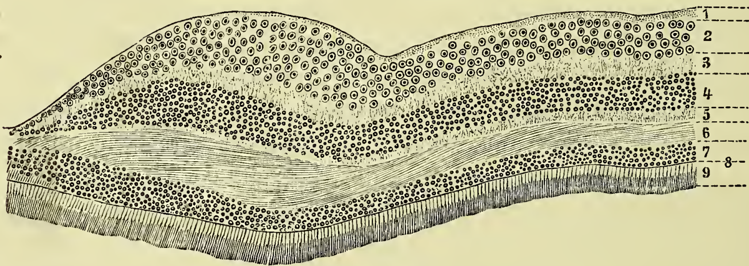


Fig. 32.

Fall IV.

Das rechte Auge einer 54-jährigen Frau wurde wegen Carcinoma conjunctivae enucleirt. Der Augenspiegelbefund war vollkommen normal gewesen. Sie sah mit + 2·5 D $^{6}/_{12}$. Auch hier wurde der Bulbus unmittelbar nach der Enucleation im Aequator eröffnet, der hintere Abschnitt in $3^{1}/_{2}{}^{0}/_{0}$ Salpetersäurelösung gelegt und nach 6stündigem Verweilen in derselben in Alkohol nachgehärtet.

Die Netzhaut war stark von ihrer Unterlage abgehoben und in ziemlich starke radiäre Falten um die Fovea gelegt. An den Schnitten war auch ein deutlich welliges Verhalten der inneren und äusseren Netzhautoberfläche bemerkbar. (Fig. 32 die Bezeichnung der Schichten wie früher.)

Der Durchmesser der Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche war sehr klein, er mass nur 0·8 *mm*. Der Abfall gegen dünnste Stelle der Netzhaut war infolge dessen auch sehr steil, unter einem Winkel von 40°. Eine plane Stelle am Grunde der Fovea war nicht vorhanden. Hier war die Netzhaut 0·16 *mm* dick; während die Dicke der Netzhaut an der dicksten Stelle im Umkreise der Fovea 0·35 *mm* beitrug.

Die inneren Schichten der Netzhaut vor der Schichte des Sehepithels fehlten nicht vollständig; vielmehr vereinigten sich die Ganglienzellenschicht und die Körnerschicht zu einer ganz dünnen Lage von Zellen an der tiefsten Stelle der Fovea, während die innere reticuläre Schicht verschwand. Die äussere reticuläre Schicht war ebenfalls am Grunde der Fovea nicht mehr zu sehen.

In der äusseren Faserschicht verliefen die Fasern deutlich und ziemlich stark wellig, lockig. Dort wo die äussere Faserschicht schon sehr dünn ist, sieht man, wie sich die Fasern, die daselbst sehr kurz sind, ziemlich steil aufstellen und Zwischenräume zwischen sich lassen, wie dies Henle*) beschrieben hat. Die Dicke der äusseren Faserschicht an ihrer dicksten Stelle ist 60 μ. In der Mitte der Fovea fehlte diese Schichte nicht vollständig. Daselbst war die Zapfenkörnerschicht deutlich verdickt und ihre äussere Begrenzung hatte einen Abstand von etwa 10 μ von der geradlinig verlaufenden Limitans externa. Die Länge der Zapfen in dem Grunde der Fovea war bis höchstens 48 μ. Die Ganglienzellenschicht und die Körnerschicht haben an ihrer dicksten Stelle 75, resp. 60 μ.

Fall V.

Eine 68jährige Frau hatte ein recidivirendes Epitheliom am äusseren Canthus des linken Auges, welches auf die Conjunctiva bulbi übergegriffen hatte. Cornea, Kammer, Iris normal. Spiegelbefund ebenfalls normal. Nach der Enucleation hatte Herr Doc. Dr. Czermak die Güte, den Bulbus für mich in der folgenden Weise zu präpariren, wofür ich ihm hiermit meinen besten Dank ausspreche. Es wurde das Auge frieren lassen, dann im Aequator eröffnet und der hintere Abschnitt in Flemming'sche Lösung eingelegt. Die Netzhaut hob sich durch diese Präparation zwar etwas in der Maculagegend von ihrer Unterlage ab, doch zeigte sie gar keine Faltung. Man konnte die Fovea sehr schön als ein kleines Grübchen erkennen, das von einem etwas verdickten Walle der Retina umgeben war. Nachdem ich den hinteren Abschnitt dann in Alkohol in der bei der Flemming'schen Lösung üblichen Weise nachgehärtet hatte, wodurch sich die Retina in keiner Weise weiter veränderte, wurde der Theil der Retina, der die Macula und ihre Umgebung enthielt, herausgeschnitten und in Celloidin eingebettet. Die Schnitte, die in horizontaler Richtung angelegt waren, fielen vollkommen senkrecht auf die Netzhautoberfläche. Sie waren aber im Ganzen etwas nach innen convex umgebogen. Leider sind sehr viele von ihnen infolge zum Schneiden ungeeigneter Consistenz des Präparates in der Weise verändert, dass Spaltungen zwischen der

---

*) Henle, Handbuch der Anatomie II. S. 691, Fig. 531.

äusseren Faserschicht und der äusseren reticulären Schicht eingetreten waren. Doch konnte man sich selbst an solchen Schnitten die Dickenverhältnisse durch gesonderte Messung der beiden Theile reconstruiren. Die einzelnen Netzhautelemente waren vorzüglich schön erhalten. Von der Stäbchen- und Zapfenschicht waren die Innenglieder gut erhalten, die Aussenglieder aber an vielen Stellen durcheinander geworfen und umgebogen. Das Pigmentepithel fehlte überall.

Der Durchmesser jener Stelle, an welcher die Einsenkung begann, betrug 1·8 *mm*. Der Abfall der inneren Netzhautoberfläche gegen den Grund der Vertiefung war infolge dessen sehr allmälig und erfolgte an der nasalen Seite unter einem Winkel von 10 — 11°, an der Schläfenseite unter einem noch kleineren Winkel.

Der Fundus foveae ist eine Stelle im Ausmasse von etwa 0·15 *mm*, an welcher die innere Oberfläche der Retina vollkommen flach ist, an manchen Schnitten mit ganz leichter Concavität nach vorn. Betrachtet man daselbst die äussere Oberfläche der Netzhaut, so sieht man, dass sie eine nach hinten gerichtete Concavität im Bereiche von 0·25 *mm* zeigt. Es ist das Niveau der äusseren Enden der Zapfen und in vollkommen entsprechender Weise auch die Limitans externa nach vorn convex. Würde man sich also daselbst die äusseren Spitzen der Zapfen in das Niveau der übrigen, in der Umgebung dieser Stelle gelegenen zurückgelegt denken, so müsste natürlich eine Concavität der vorderen Oberfläche der Retina entstehen, die so gross ist, dass die schiefe Ebene des Clivus sogleich in dieselbe übergehen würde.

In der Entfernung von 2·3 *mm* von der Mitte der Fovea nasalwärts war die Dicke (diese Angaben beziehen sich natürlich alle auf die Retina ohne Pigmenthepithel) 0·275 *mm*, in der gleichen Entfernung von der Mitte der Fovea an der Schläfenseite 0·2 *mm*. Die dickste Stelle der Netzhaut war nach beiden Seiten hin gleich weit (0·9 *mm*) von der Mitte der Fovea entfernt. An der dicksten Stelle gegen die Papille zu mass die Retina 0·3 *mm*, an der dicksten Stelle gegen die Schläfenseite 0·25 *mm*. Davon kommt auf die Schichte des Sehepithels an der Nasenseite 0·12 *mm* an der Schläfenseite 0·11 *mm*. An jener Stelle, wo die nach vorn convexe Krümmung der Membrana limitans externa begann, war die Dicke der Netzhaut 0·13 *mm*, ganz in der Mitte der Fovea 0·075—0·079 *mm*.

Die Membrana limitans interna erscheint in der vertieften Stelle der Macula sehr verdünnt. Die Nervenfaserschicht wird ganz allmälig gegen die Macula hin schmächtiger und verschwindet 0·7 — 0·75 *mm* von der Mitte der Fovea.

Die Ganglienzellenschicht, welche bei 3 *mm* nasalwärts von der Mitte der Fovea 24 μ misst, hat an der dicksten Stelle der Netzhaut, wo sie ebenfalls am dicksten ist, nasalwärts von der Fovea 57 μ, temporal-

wärts 48 μ und verschwindet 0·075 *mm* von der Mitte der Fovea, nachdem sie kurz vorher mit der Körnerschichte zusammengeflossen ist, welche Letztere an derselben Stelle endet. Auf eine kurze Strecke liegen Ganglienzellen und innere Körner unter einander gemengt in einer dünnen Schichte beisammen, sind aber noch an der verschiedenen Grösse von einander zu unterscheiden. Die innere Körnerschicht hatte im Bereiche der Netzhantanschwellung 54 μ Dicke.

Die äussere reticuläre Schicht verdünnt sich allmälig von der Netzhautanschwellung an. Ich konnte dieselbe nicht mit Sicherheit bis in den Grund der Fovea verfolgen.

Die innere reticuläre Schicht erfährt keine Verdickung in der Macula gegend, sondern beginnt in der Gegend der Retinaanschwellung dünner zu werden und verliert sich dann wie gesagt unweit vor der Endigung der beiden ihr benachbarten Schichten.

Die äussere Faserschicht von Henle nimmt allmälig gegen die Mitte der Fovea an Dicke zu und erreicht ihre grösste Mächtigkeit etwa 0·33 *mm* von der Mitte der Fovea. Daselbst hat sie eine Dicke von 50 μ an der Nasenseite und 42 μ an der Schläfenseite. Von da an nimmt sie sehr rasch ab und dort, wo die Ganglienzellenschicht und die Körnerschicht aufhören, sieht man auch keine Faserschicht mehr. Die Fasern dieser Schicht verlaufen alle fast gestreckt, nur sehr schwach wellig und zunächst parallel zur äusseren Fläche der Netzhaut, dann in schwachen Bögen in die Zapfenkörnerschicht umbiegend. Auch an den peripheren Enden der Schnitte, woselbst die äussere Faserschicht noch als sehr dünne Lage erkennbar ist, liegen die Fasern, ohne durch Zwischenräume von einander getrennt zu sein, grösstentheils parallel zur äusseren Oberfläche der Retina.

Die Zapfenkörnerschicht erscheint in der Gegend der Netzhautanschwellung etwas dünner, wird aber dann dicker. Ihre äussere Oberfläche hebt sich in einer Ausdehnung von 0·3 *mm* im flachen Bogen von der Limitans externa ab, so dass zwischen den Zapfenkörnern und dieser Membran, ganz in der Mitte der Fovea ein Abstand von 12 μ besteht. In der Mitte der Fovea sind die äusseren Körner nur in 2-, höchstens 3facher Lage zu finden, stehen aber nicht nebeneinander aufgereiht, sondern ziemlich unregelmässig durcheinander. Schon an der Stelle, wo die Zapfenkörnerschicht am dicksten ist, liegen die einzelnen Körner nicht mehr in horizontalen Lagen, sondern werden vielmehr durch die schräg gegen die Mitte der Fovea und nach rückwärts zu verlaufenden Zapfenfasern in Lagen geordnet, deren Richtung der Verlaufsrichtung der Zapfenfasern entspricht.

Die Limitans externa hat in der Mitte der Fovea, wie schon erwähnt, eine nach vorn convexe Krümmung, in der ganzen übrigen Macula verläuft sie vollkommen geradlinig.

Die Zapfen selbst sind demzufolge auch in der Mitte der Fovea nicht deutlich verlängert. Sie haben eine Länge von 36 μ. Die Dicke ihrer Innenglieder ist 3·5 μ. In der Mitte der Fovea waren die Aussenglieder der Zapfen ziemlich gut erhalten und gerade. Dennoch habe ich auch die Innenglieder gemessen, um ihre Länge mit der Länge der Innenglieder an anderen Stellen zu vergleichen. Sie hatten ebenso wie in den von der Fovea entfernten Theilen der Schnitte 15—18 μ Länge. Eine schräge Stellung der Innenglieder der Zapfen, ganz in der Mitte der Fovea, wie dies Kuhnt beschreibt, konnte ich nicht finden.

Ueberblicken wir noch einmal die in diesen 5 Fällen von völlig frischen Netzhäuten gewonnenen anatomischen Befunde: zunächst ist hervorzuheben, dass zur Fixirung der Netzhaut $3^1/_2{}^0/_0$ Salpetersäurelösung, beziehungsweise Flemming'sche Lösung angewendet wurden, welche viel rascher einwirken, als die sonst meist angewendete Müller'sche Flüssigkeit. Es ist deshalb auch bei der Härtung durch Müller'sche Flüssigkeit nur unter besonderen Umständen, nämlich bei einer durch eine mehr eiweissartige Beschaffenheit des Glaskörpers bedingte Selbsteinbettung der Retina gelungen, dieselbe in situ zu erhalten (Kuhnt, Wadsworth). In unseren Fällen gelang es dagegen unter 5 Fällen dreimal, jede Faltung, und in 2 Fällen davon auch jede Abhebung der Retina zu verhüten, während in den 2 anderen Fällen doch auch Abhebung und Faltung der Netzhaut in der Weise eintrat, dass die Retina in zahlreiche, zur Fovea radiäre Fältchen gelegt und wenn auch in mässigem Grade von ihrer Unterlage abgehoben war.

Betrachten wir den Durchmesser der Vertiefung an der inneren Netzhautoberfläche in den einzelnen Fällen, so sind die gefundenen Maasse recht ansehnlich: 2 *mm* im Falle I, 1·1 *mm* im Falle II, 1·2 *mm* im Falle III, 0·8 *mm* im Falle IV und 1·8 *mm* im Falle V. Dem entsprechend war auch der Winkel, unter dem die innere Oberfläche der Retina gegen die dünnste Stelle der Netzhaut abfiel, sehr klein : 10 — 12⁰ im Falle I, 20 — 27⁰ im Falle II, 27⁰ im Falle III, 10 — 11⁰ im Falle V und nur im Falle IV 40⁰. Der geringste Durchmesser der verdünnten Netzhautstelle fand sich im Falle II und Fall IV. Von diesen war der Schnitt im Falle II nicht ganz central und schief, im Fall IV war die Retina stark gefaltet. Immerhin war selbst in diesen Fällen der Durchmesser der verdünnten Netzhautstelle sehr gross.

Der einem so bedeutenden Durchmesser der Vertiefung an der inneren Netzhautoberfläche wie im Fall I, II, III und V angemessene Abfall der inneren Netzhautoberfläche würde annähernd nur der von Schwalbe nach einem Präparate von Kuhnt gegebenen Zeichnung ent-

sprechen, nicht aber der Beschreibung im Texte. Wadsworth gibt allerdings an, dass die Netzhautgrube in seinem Falle mehr als 1 *mm* gross war, wenn man die Fovea dort beginnen lässt, wo sich die Netzhaut verdünnte. Es ist aber in seinen Präparaten noch eine in dieser Partie gelegene kleinere Stelle vorhanden, in welcher der Abhang zur Fovea steiler war. Der Durchmesser dieser Stelle war nur 0·4 *mm.* In unseren Fällen war aber von einer solchen doppelten Art des Abfalles nichts zu sehen. Die Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche erfolgte vielmehr in Form einer schiefen Ebene, die sich durch ein nach vorn convexes, in den verschiedenen Fällen verschieden stark gekrümmtes Oberflächenstück mit der Oberfläche der Netzhaut in der Umgebung der verdünnten Stelle verband.

Es liegt zunächst auf der Hand, dass wir die Oberflächenverhältnisse der Retina in der Maculagegend nur dann im anatomischen Präparate beurtheilen können, wenn die Netzhaut sich nicht gefaltet hat. Eine mässige Abhebung der Retina ohne Faltung wird immerhin gestatten durch Messung der Dicke der Retina an mehreren Stellen und Uebertragung der so gefundenen Masse auf die zu den betreffenden Stellen gezogenen Krümmungsradien der äusseren Netzhautoberfläche das Relief, welches die innere Oberfläche der Retina darbietet, zu reconstruiren. In denjenigen Fällen aber, wo die Netzhaut sich in Falten gelegt hatte (Fall III und besonders Fall IV) war der Verlauf der Fasern in der äusseren Faserschicht, wie in der Beschreibung erwähnt wurde, ausgesprochen wellig, während in den anderen Fällen die Fasern fast ganz gestreckt verliefen. Auch fehlte in diesen letzteren Fällen das starke Aufstellen und Auseinanderweichen der Zapfenfasern im Bereiche jener Stellen, wo die Zapfenfaserschichte bereits sehr dünn war. In diesem Befunde liegt bereits ein Fingerzeig, dass dort, wo die Netzhautgrube so klein gefunden wurde, wie in Fig. IV, dies wohl durch eine Schrumpfung der inneren Netzhautschichten, concentrisch gegen die Mitte der Fovea zu, bedingt ist.

Allerdings müssen, wie schon von H. Müller hervorgehoben wurde, individuelle Schwankungen in diesen Verhältnissen zugegeben werden. Doch beweist der ophthalmoskopische Befund, dass dies nur innerhalb gewisser Grenzen statt hat und dass, wie wir weiter unten bei der Erklärung der ophthalmoskopischen Erscheinungen sehen werden, der Durchmesser der Netzhautgrube (gemessen von der Stelle, wo die Einsenkung der Netzhaut beginnt) nicht unter ein gewisses Maass herabgeht, woraus sich wieder mit voller Sicherheit ergeben wird, dass der anatomische Befund in den Fällen, wo keine Faltung der Retina eingetreten war, die Verhältnisse, wie sie im lebenden Auge vorliegen, getreu wiedergibt.

In jenen Augen, wo die Netzhaut sich gar nicht abgehoben hatte (Fall I und II), war am Grund der Fovea eine nach vorn concave Fläche zu finden, die im Falle II direct wahrnehmbar war, im Falle I aber

nach der Reposition der daselbst eingerissenen Partie der Schnitte unbedingt entstehen musste. Diese Concavität an der inneren Netzhautoberfläche in diesen beiden Fällen war aber bedeutend grösser als die von Kuhnt beschriebene Foveola fundi, sie hatte 0·12 *mm* (Fall I) und 0·15 *mm*. (Fall II) im Durchmesser. Doch besteht in der Verbindung der concaven Fläche, welche wir ebenfalls als Foveola bezeichnen wollen, ein Unterschied in den beiden hier citirten Fällen. Während im Falle I (Fig 31) der sogenannte Clivus — die schiefe Ebene, mit der die innere Oberfläche der Netzhaut von der Netzhautanschwellung gegen die Mitte der Fovea abfällt — zuerst in eine flache Stelle (Fundus foveae nach Kuhnt) übergeht, in deren Mitte sich erst die Foveola befindet, so liegen die Dinge im Falle II anders. Hier geht der Clivus sogleich in die Foveola über, es existirt also kein eigentlicher Fundus foveae, wenn mit diesem Ausdrucke die plane Stelle am Grunde der Fovea gemeint ist.

Die Limitans externa wurde in beiden Fällen, in Uebereinstimmung mit Kuhnt, von geradlinigem Verlaufe gefunden, ohne jene nach innen convexe Vorwölbung, die von Max Schultze beschrieben wurde. Ebenso wenig wie in der Mitte der Fovea konnte eine Vorwölbung der Limitans externa in einem grösseren Bereiche der Macula gesehen werden.

Betrachten wir nun noch die Verhältnisse der inneren Netzhautoberfläche, die sich im Falle V dargeboten hatten. Hier war die schiefe Ebene viel weniger geneigt als im Falle II. An der dünnsten Stelle der Retina war die innere Oberfläche der Netzhaut vollkommen plan oder nur mit einer schwachen Andeutung einer Concavität nach vorn. In diesem Falle aber war die Limitans externa nach vorn convex, welche Convexität aber die Spitzen der Zapfen in ihrer Gesammtheit ebenfalls aufwiesen.

Es wird später bei der Erklärung des Fovealreflexes gezeigt werden, dass eine nach vorn concave Fläche von ziemlich starker Krümmung und Grösse in der Mitte der Fovea selbst dann angenommen werden müsste, wenn die Anatomie uns gar keinen Anhaltspunkt dafür geben würde. Nun haben uns aber gerade jene Präparate, wo die Netzhaut nicht gefaltet nnd in situ geblieben war, eine solche Vertiefung ergeben. Gleichzeitig verlief die Membrana limitans externa in diesen Fällen ganz geradlinig. Da nun im Falle V die innere Oberfläche der Retina an ihrer dünnsten Stelle plan ist, die Limitans externa und mit ihr die äussere Begrenzung der Zapfenschichte nach vorn convex, so ist im Zusammenhalt mit dem Befunde in Fall I und II, sowie mit Rücksicht auf die später zu erörternden ophthalmoskopischen Erscheinungen, die Annahme vollkommen berechtigt, dass auch im Falle V die innere Oberfläche der Retina in der Mitte der Fovea nach vorn concav, die Limitans externa geradlinig ist. Was ist auch natürlicher, als dass sich an dieser dünnsten, äusserst zarten Partie der Retina eine Einstülpung nach innen, eventuell ein kleiner Einriss

einstellt, ehe die Härtungsflüssigkeit einwirken kann und ehe ihre Wirkung vollendet ist. Sehen wir ja doch, wenn wir die Retina sich selbst überlassen, oder wenn wir zur Fixirung eine Flüssigkeit anwenden, die zu langsam einwirkt, die Retina im Bereiche der ganz verdünnten Stelle (Fovea), also von der dicksten Stelle der Retina an der Nasenseite bis zur dicksten an der Schläfenseite, sich nach innen einstülpen.

Damit würde sich das Relief der Netzhaut gegen den Glaskörper im Falle V ganz ähnlich jenem gestalten, wie es im Falle II sich ergeben hatte — nämlich ein directer Uebergang des Clivus in die Foveola, ohne einen eigentlichen Fundus foveae. Im Falle V war nur der Durchmesser der ganzen Einsenkung der Fovea bedeutend grösser und der Clivus also auch weniger geneigt als im Falle II, wobei man aber nicht vergessen darf, dass im Fall II die Schnitte schief gefallen waren. Die Foveola selbst war in dem Falle II und V bedeutend grösser als im Falle I.

Es ist nach diesen Resultaten der Untersuchung wohl nicht gewagt, anzunehmen, dass gerade in den Fällen, wo die ganze Fovea einen sehr grossen Durchmesser hat wie im Falle I, auch eine plane Stelle, ein eigentlicher Fundus foveae vorhanden sein dürfte, während in jenen Fällen, wo die Fovea einen geringeren Durchmesser hat, der Clivus gleich in die Foveola übergehen wird.

Bezüglich der einzelnen Schichten zeigten sich auch sehr bedeutende Verschiedenheiten in den von mir untersuchten Fällen. Die Nervenfaserschicht hörte in sehr wechselnder Entfernung von der Mitte der Fovea auf, erstreckte sich aber immer über die Höhe der Netzhautanschwellung hinweg. Die Ganglienzellenschicht erscheint durch ihre grössere Mächtigkeit als die Hauptursache für die Netzhautverdickung im Umkreis der Fovea, doch hat auch die innere Körnerschicht einen wesentlichen Antheil daran. Das Zusammenfliessen dieser beiden Schichten in der Mitte der Fovea wurde nur im Falle I nicht beobachtet.

Uebereinstimmend konnte in allen Fällen, bei denen diese Verhältnisse genau zu untersuchen waren und bei denen keine starke Faltung der Retina eingetreten war (Fall I, III, V,) das Fehlen sämmtlicher Schichten, welche nicht zur Sehepithelschicht gehören, mit Ausnahme einer feinen Lage reticulirter Substanz, nachgewiesen werden.

Die Zapfenfaserlage zeigte in einem gewissen Abstande von der Mitte der Fovea ihre grösste Mächtigkeit, wird aber dann sehr rasch dünner und fehlt schliesslich auch in der Mitte der Fovea.

Die äussere Körnerschicht war constant in der Umgebung der Mitte der Fovea verdickt, daselbst freilich auch die einzelnen Zapfenkörner in grösseren Zwischenräumen von einander. Ganz in der Mitte der Fovea lagen sie im Falle I in sehr unregelmässiger Lagerung höchstens 2 übereinander. Dass im Falle V daselbst mehrere übereinander zu liegen schienen, kann sehr

wohl durch die in diesem Falle vorhandene Einbiegung der Retina nach innen zu entstanden sein. Denken wir uns nämlich zunächst nahe der convexen Seite des Stückes eines Kreisbogens eine Anzahl von Punkten in wechselnden Abständen von der Kreislinie (innere Oberfläche der Retina). Würde nun der Bogen in die Sehne verkürzt und die Punkte würden dabei der Linie folgen, so müssten sie sich, um unter der Sehne Platz zu haben, auf einen kleineren Raum zusammendrängen und es wird sich deshalb, da sie in wechselnden Abständen von der Kreislinie gelagert werden, mancher Punkt, der früher schräg vor einem anderen lag, direct vor denselben legen. Es werden also an vielen Stellen wenigstens mehr Punkte hintereinander liegen als früher.

In allen Fällen konnte ich das Abrücken der Zapfenkörner von der Limitans externa constatiren, so dass zwischen ihnen und der Limitans externa ein Zwischenraum bestand, der von den zu den Zapfen hinstrebenden Zapfenfasern ausgefüllt war.

Von dem Verhalten der Limitans externa war schon die Rede: es konnte keine Vorwölbung derselben in der Mitte der Fovea oder überhaupt in der Macula wahrgenommen werden.

Damit komme ich zu einem Punkte, in dem ich mich mit den Beobachtungen anderer in einem sehr wesentlichen Widerspruche befinde. Verlauft nämlich die Limitans ganz geradlinig, parallel zur äusseren Oberfläche der Retina, so ist schon dadurch eine Verlängerung der Zapfen im Bereiche der Macula, welche über die Länge der Stäbchen, wie sie in anderen Theilen der Retina gefunden werden, hinausgeht, ausgeschlossen. Eine Convexität der Membrana limitans externa nach vorn in der Mitte der Fovea wird zwar von Kuhnt und Schwalbe ebenso wie von Merkel nicht angegeben, Schwalbe bemerkt vielmehr ausdrücklich, dass diese Einbiegung der Limitans dadurch vorgetäuscht worden sei, dass die Zapfenkörner von der Limitans nach innen zu abrücken. Nach Kuhnt wären die Zapfen in der Fovea nur 60—75 μ lang, also doch etwas länger wie die Stäbchen im Augengrunde (60 μ), wodurch eine allerdings nur ganz leichte Vorbauchung der Limitans externa im Bereiche der Macula verbunden sein müsste.

Bei den von uns untersuchten Netzhäuten waren die Zapfen im Grunde der Fovea aber selbst kürzer, als die Stäbchen in der übrigen Netzhaut sein sollen.

Im Falle I waren sie gar nur 40 μ lang, wobei freilich, da sie in der Fovea vom Pigmentepithel abgelöst waren, die äussersten Spitzen der Aussenglieder wohl länger gewesen sein mögen. Im Falle II wurden die Zapfen zwar nicht direct gemessen, doch betrug der Abstand der Limitans externa von der äusseren Begrenzung des Pigmentepithels, sowie an anderen Stellen der Macula auch in der Fovea bis 46 μ. Durch die zur Netzhautoberfläche schiefe Lage der Schnittebene konnte dieser Abstand nur

verlängert worden sein. Nach Abrechnung der Dicke der Pigmentepithelzellen (7—9 μ) würde also für die Zapfen eine Länge von bis 39 μ resultiren. Dieses Maass bleibt aber unter jenem gewöhnlich für die Stäbchen angegebenen (60 μ). Im Falle IV massen die Zapfen in der Fovea höchstens 48 μ, auch ohne das Pigmentepithel, doch war hier, wie wir gesehen haben, die Retina ziemlich stark gefaltet und das Relief ihrer inneren Oberfläche entschieden verändert. Auf die Messung im Falle V kann man kein grosses Gewicht legen, da hier die Aussenglieder der Zapfen nicht gut erhalten waren, immerhin waren die Innenglieder nicht verlängert.

Es muss hier darauf hingewiesen werden, dass die Netzhäute wenige Minuten nach der Enucleation in $3^1/_2$% Salpetersäurelösung gebracht wurden. Die Salpetersäurelösung, welche von Altmann empfohlen wurde, soll den Untersuchern gerade für die Härtung der Retina ausgezeichnete Resultate geliefert haben. So bemerkt van Genderen Stort*), dass keines der anderen von ihm angewandten Reagentien eine so gleichmässige Härtung von allen Theilen der Retina, insbesonders der Mosaikschicht ergab, als eben die Salpetersäurelösung. Jedenfalls muss ein Reagens, welches unter Umständen gar keine Faltung und Abhebung der Retina bewirkt, auch die einzelnen Elemente am besten conserviren. Eine Faltung und Abhebung der Netzhaut ist ja gar nicht denkbar, ohne dass auch die Form und Grösse der einzelnen Elemente und deren Lagerung zu einander geändert wird. Henle**) bemerkt, dass die äussere Faserschicht unter der Einwirkung von Lösungen von Chromsäure und chromsaurem Kali sich sehr auffallend verändert. Die Fasern werden rauh, verworren und die Schichte nimmt sehr bedeutend an Dicke zu. Der Grund dafür liegt nach Henle in der Schrumpfung des Glaskörpers, welche eine Dehnung der Retina in einer zu ihrer Oberfläche senkrechten Richtung bewirkt (eine Ansicht, der übrigens von Max Schultze widersprochen wurde). Wäre es nicht möglich, dass die so bedeutende Länge der Zapfen in der Fovea, besonders die ganz exorbitante Länge derselben, wie sie M. Schultze angibt, auf eine ähnliche Ursache zurückgeführt werden muss?

Um zu constatiren, welchen Einfluss die Fixirung der Retina in $3^1/_2$% Salpetersäurelösung und die Nachhärtung in Alcohol auf die Stäbchen und Zapfen der Retina hat, führte ich an 4 Fröschen (Rana esculenta) folgende Untersuchungen aus:

Zuerst wurde von dem einen Auge des Frosches, u. zw. aus den mittleren Partien der Retina die Länge der Stäbchen frisch in Glaskörperflüssigkeit gemessen. Die Resultate waren folgende: Länge der Aussenglieder 41—50 μ, Dicke derselben 5·7—9·2 μ, Länge des ganzen Stäbchens

---

*) Van Genderen Stort, über Form- und Ortsveränderungen der Netzhautelemente etc. Graefes Archiv. Bd. XXXIII. 3.

**) l. c. II. p. 681.

bis zum Stäbchenkorn, 64—73 μ. Der andere Bulbus wurde sogleich frisch in $3^1/_2{}^0/_0$ Salpetersäurelösung gelegt. Nach 6 Stunden wurden von der einen Hälfte der Retina (die Retina war vollständig in situ geblieben) die Stäbchen aus den mittleren Partien der Retina gemessen. Die Präparation erfolgte in der von van Genderen Stort angewendeten Weise durch Hacken mit einem Rasirmesser. Die andere Hälfte der Retina wurde in $95^0/_0$ Alkohol durch einige Tage gehärtet, dann für 12 Stunden in eine Mischung von gleichen Theilen Aether und absolutem Alkohol gelegt, endlich in Celloidin eingebettet und geschnitten. Auch durch die Alkoholhärtung wurde die Retina nicht von ihrer Unterlage abgelöst.

Die Messungen der Stäbchen an der in Salpetersäurelösung fixirten Retina, ebenso wie an den Schnittpräparaten der in Alkohol nachgehärteten Netzhautstücke ergaben keine Differenzen gegenüber den Messungen der frischen Stäbchen.

Die Resultate der im Vorhergehenden mitgetheilten Untersuchungen ergaben also, so weit sie zur Entstehung der Netzhautreflexe an der inneren Oberfläche der Retina in Beziehung stehen können, folgende Resultate:

1. Die Fovea im Ganzen, gemessen von dem Punkte, wo die Einsenkung der inneren Oberfläche der Retina beginnt, ist um sehr vieles grösser als gewöhnlich angegeben wird, nach unseren Präparaten im horizontalen Meridian nicht unter 1·1 *mm* und, wenn wir blos die Messungsresultate an den nicht gefalteten und senkrecht zur Oberfläche geschnittenen Netzhäuten (Fall I und V) in Betracht ziehen, sogar 1·8—2·0 *mm*.

2. Die Oberfläche der in der Umgebung der Fovea verdickten Netzhaut geht durch ein nach vorn convexes Oberflächenstück von verschiedener Länge und Wölbung in den Abhang — Clivus über.

3. Dieser Clivus stellt eine schiefe Ebene dar, die höchstens einen Winkel von etwa 27° mit der äusseren Oberfläche der Retina bildet. In den zwei soeben erwähnten Fällen (I und V) war dieser Winkel nur 10—12°.

4. An der dünnsten Stelle der Netzhaut geht der Clivus entweder sogleich in eine nach vorn concave Fläche — Foveola über, oder zunächst in eine plane Stelle, in deren Mitte sich dann die Foveola befindet.

5. Der Durchmesser dieser Foveola wechselt von 0·12 bis 0·25 *mm*.

Die Netzhautreflexe.

Mit den Netzhautreflexen in der Gegend der Macula hat man sich immer viel eingehender beschäftigt, als mit den übrigen Netzhautreflexen. Es ist dies bei ihrer auffallenden und constanten Form und bei der Abwesenheit anderer Details in dieser Gegend, ferner bei der Wichtigkeit jener Stelle für das Sehen ganz erklärlich.

Im Folgenden wollen wir die Erscheinungen, welche ihrer Ausdehnung nach dem gelben Flecke etwa entsprechen, als Macularreflex bezeichnen und von dem Befunde in der Gegend der Fovea, der übrigens nicht völlig durch regelmässige Reflexe bedingt wird, trennen.

A. Der Macularreflex.

Literatur.

Liebreich (6) beschreibt den Macularreflex zuerst. Er gibt an, dass es möglich sei, mit dem Augenspiegel die gelbe Färbung der Netzhaut und denjenigen Theil der Macula lutea, der sich durch das Fehlen einer continuirlichen Schichte von Nervenfasern auszeichnet, zu erkennen. »Untersucht man den dunkel pigmentirten Augengrund eines jugendlichen Individuums, so umkreist, während man mit dem Spiegel leichte Drehungen macht, ein graulicher Schimmer, der den Sehnervenfasern seinen Ursprung verdankt, einen rundlichen oder ovalen oder auch etwas eckigen Fleck, der gegen diesen Schimmer scharf begrenzt ist. Er ist in horizontaler Richtung grösser, glanzlos und hinter ihm die Chorioidea etwas dunkler pigmentirt. In der Mitte ist manchmal ein heller Punkt, umgeben von einem rostfarbenen Hofe. Bei hellerem Augengrunde ist die Erscheinung schwächer, ebenso bei alten Leuten. Die gelbe Färbung verursacht einen rostbraunen Hof um das Foramen centrale, wenn der Augenhintergrund dunkel ist, bei hellem Augengrunde erscheint sie aber so roth, dass man sie mit einem Extravasat verwechseln könnte. Der Durchmesser dieses Hofes schwankt bis zu $^1/_3$ der ganzen Macula lutea. Man erkennt also die gelbe Färbung mit dem Spiegel nicht so weit als bei der anatomischen Untersuchung.« Die ganze Erscheinung tritt nur im umgekehrten Bilde auf. Liebreich gibt auch in seinem Atlas (7) eine Abbildung des Phänomens.

Schirmer (8) beschreibt den Reflex in gleicher Weise wie Liebreich und erwähnt, dass man, wenn die Papille gleichzeitig im Gesichtsfelde ist, nicht den ganzen Reifen überblickt, sondern nur eine seitliche Hälfte desselben. Nachdem er dann die übrigen Netzhautreflexe neben den Gefässen beschrieben hat, wirft er die Frage auf, ob nicht auch der Macularreflex durch die Gefässe bedingt sein könne. Dies ist aber nicht möglich, da sich kein entsprechender Gefässkranz um die Macula befindet. Der horizontale Durchmesser des Reflexringes verhält sich nach Schirmer zum verticalen wie 4 : 3. Der verticale Durchmesser ist gleich dem der Papille. Der Rand der Macula steht von der Papille um das $1\frac{1}{2}$ fache oder doppelte des Papillendurchmessers ab. Die Mitte der Macula ist etwa um $\frac{1}{2}$ Papillendurchmesser niedriger als die Mitte der Papille.

Schweigger (9) führt den Macularreflex darauf zurück, dass in der Gegend der Macula die Nervenfaserschicht erheblich dünner ist. Ferner fehlen in der Maculagegend die erweiterten mit der Limitans verschmelzenden Enden der Radiärfasern. Mauthner (11) dagegen kann dieser Erklärung nicht beistimmen, da sie allenfalls die dunklere Farbe der Maculagegend, nicht aber den glänzenden Ring erklären könnte. Von Mauthner wird ausdrücklich hervorgehoben, dass man auch in Fällen, wo der Reflexring im verkehrten Bilde in schärfster Ausprägung sich findet, nichts davon im aufrechten Bilde wahrnehmen kann, ein Verhalten, welches von Mauthner als völlig unerklärlich bezeichnet wird.

Loring (18) denkt sich den Reflex dadurch entstanden, dass sich in der Maculagegend eine plötzliche Einsenkung und Verdünnung der Netzhaut, vielleicht bedingt durch die Endigung der Sehnervenfasern findet. Der nach vorn convexe Rand dieser Einsenkung soll den Reflex geben. Dass der Reflexring im aufrechten Bilde nicht zu sehen ist, erklärt Loring dadurch, dass der Umfang der Macula überhaupt zu gross ist, um im aufrechten Bilde auf einmal übersehen zu werden. Ferner ist auch die Beleuchtung im aufrechten Bilde zu schwach. Immerhin könne man einen Theil des Reflexringes auch manchmal im aufrechten Bilde, wenn auch nur sehr lichtschwach sehen. Dabei beruft sich Loring auf die Abbildung, die Max Schultze von der Netzhaut in der Gegend der Macula gegeben hat.

Ueber diese Ansicht Lorings macht Leber (19) einige Bemerkungen, in welchen er die Richtigkeit derselben anzweifelt. Die Zeichnung M. Schultze's, die übrigens nur schematisch sei, ergibt, dass der Durchmesser der ganzen Partie von dem Punkte an, wo die Einsenkung beginnt, nur 1 *mm* betragen würde. Dies ist aber nicht hinreichend, um die ophthalmoskopischen Erscheinungen zu erklären. Auch durch das Fehlen der Nervenfaserschichte kann der Reflex nicht bedingt werden, da dieselbe ja allmälig aufhört, durch sie also kein plötzlicher Niveauunterschied hervorgerufen werden kann. Ueberhaupt, meint Leber, »lässt sich die Frage

nicht durch Construction von Schematen, welche die Verhältnisse im Auge nachahmen sollen, sondern nur durch neue, speciell darauf gerichtete anatomische Untersuchungen lösen.«

Dennoch kommt Delorme (21) auf die Verdünnung der Netzhaut als Ursache des Reflexes zurück. Auch er gibt übrigens an, dass der Reflex am besten bei nicht künstlich erweiterter Pupille zu sehen ist.

Brecht (30) nimmt an, dass sich am hinteren Pole des Auges eine Delle befindet, von deren abschüssigen Flächen das regelmässig reflectirte Licht nicht mehr die Pupille verlassen kann. Dagegen ist dieses möglich für die Lichtstrahlen, die von der Mitte der Delle und von der polaren Zone des Augenhintergrundes in der Umgebung der Delle reflectirt werden. Die Mitte der Delle wird keinen Reflex geben, weil sich dort die stark gekrümmte Fovea centralis befindet. Die Breite der polaren Zone, welche rings um die Delle den Glanz zeigt, würde nun von der Weite der Pupille abhängen. Je weiter die Pupille, desto mehr von den schief einfallenden Randstrahlen wird zur Pupille reflectirt werden, die Contraste und die Grenzen werden verwischt werden und die Erscheinung undeutlicher. Bei sehr enger Pupille würde nur ein sehr schmaler Streifen sichtbar sein. Um nun den äusseren Rand des Reflexringes zu erklären, nimmt Brecht die Reflexe an den die Macula lutea umkreisenden Gefässen zu Hilfe. Er construirte ein Modell, dass die Richtigkeit seiner Theorie beweisen sollte. In demselben erschienen zwei concentrische Ringe. (Es waren eine grössere Delle und in der Mitte derselben eine kleinere angebracht.) In der That gibt auch Brecht an, den zweiten kleineren Ring manchmal beim Menschen gesehen zu haben. Die elliptische Form des Macularreflexringes bleibt freilich durch alles dies unerklärt.

Im gleichen Jahre wie die Arbeit von Brecht erschien eine Abhandlung von Schmidt-Rimpler (31) über diesen Gegenstand. Schmidt-Rimpler untersuchte das Aussehen der Macula an frischen Augen. Dieselbe erscheint als ein dunkel-braunrother Fleck von 0·8—2·0 *mm* im Durchmesser. Derselbe hebt sich durch eine gewisse Stumpfheit und Mangel an Glanz und durch eine tiefere Farbennüance von der umgebenden Netzhaut ab. Er ist kreisrund und queroval. Die Grenzen des Fleckens sind bisweilen verschwommen. Nach Schmidt-Rimpler hätte auch die Beleuchtung Einfluss. Er sah z. B. den Fleck in einem Auge mit hellgrauer Iris bei intensiver Beleuchtung mit einem Convexglase rundlich und nur von der Grösse der halben Papille. Beim Hineinwerfen des Lichtes durch einen planen Augenspiegel erschien der Fleck aber von mehr querovaler Form und grösser. Lässt man nun die hintere Hälfte des aufgeschnittenen Bulbus liegen, so trübt sich die Netzhaut bald, die dunkel gefärbte centrale Partie wird kleiner, so dass man ganz das Bild wie bei Embolie der Centralarterie bekommt. Die Umgebung dieser kleinen dunklen Stelle wird dann gelblich.

In der Deutlichkeit der Macula bei frischen Augen konnte kein Unterschied zwischen Augen mit heller und dunkler Iris gefunden werden.

Nach diesen Untersuchungen könnte man zunächst glauben, dass die gelbe Färbung der Macula wirklich eine Leichenerscheinung sei. Es zeigt sich aber, dass die Macula auch im ganz frischen Zustande eine gelbe Färbung besitzt. Sie tritt aber nicht hervor, sobald die Membran noch vollkommen durchsichtig ist, sie dient nur dazu, der durchscheinenden, dunklen Chorioidea eine noch tiefere Farbennüance zu geben. Wenn man das Stück der Netzhaut sammt der Macula im frischen Auge von der Unterlage entfernt und ansieht, so nimmt man an demselben sogleich die gelbe Farbe wahr. Die Macula erscheint von goldgelber Farbe, im auffallenden Lichte oft in grösserer Ausdehnung als im durchfallenden Lichte. Die Pigmentirung der Macula hat in der Umgebung der Fovea einen etwas dunkleren Ton.

Die ophthalmoskopisch sichtbare, dunklere Farbe der Macula soll nun nach Schmidt-Rimpler von dem gelblichen, Licht absorbirenden Farbstoffe daselbst herrühren und nicht von stärkerer Pigmentirung der Chorioidea oder von grösserer Dünnheit der Netzhaut daselbst. Dass die Chorioidea nicht daran Schuld ist, kann man dadurch beweisen, dass man im frisch eröffneten Auge die Netzhaut über ihrer Unterlage verschiebt. Es lässt sich auch der dunkle Fleck mitverschieben. Die Dünnheit der Netzhaut in der Macula ist aber nicht erwiesen, vielmehr sagt M. Schultze, dass die Retina um die Fovea dicker ist. Aber auch die Dünnheit der Netzhaut, wenn sie vorhanden wäre, könnte die dunklere Färbung nicht hervorrufen, so lange die Netzhaut durchsichtig ist.

Schmidt-Rimpler wendet sich gegen die Erklärung von Liebreich, Loring und Brecht und formulirt seine Meinung schliesslich dahin, dass eben der Gegensatz zwischen dem abgestumpften Tone des gelben Fleckes und dem Reflexe der anliegenden Netzhautpartie zu dem im umgekehrten Bilde sichtbaren Lichtreifen Anlass gibt. Dass der innere, scharfe Rand des Lichtstreifens scharf hervortritt, erkläre sich durch die Lichtabsorption des gelben Pigmentes daselbst. Die äussere Begrenzung und Form des glänzenden Netzhautreflexes soll von sehr verschiedenen optischen Verhältnissen als: Der Art des Lichteinfalles, Brechung im Auge, etc. abhängen. Die im ophthalmoskopischen Bilde quer ovale Form des Lichtreflexes sei durch den regelmässigen physiologischen Astigmatismus des Auges bedingt.

Für das Fehlen des Reflexes im aufrechten Bilde gibt Schmidt-Rimpler die geringere Beleuchtung und die stärkere Vergrösserung an. Die Letztere verhindert, dass man die Macula mit einem Blick übersehe. Auch anatomisch tritt die Macula in ihrer Totalität besser hervor, als wenn man nur einzelne Theile betrachtet. Schmidt-Rimpler hält es ausserdem auch für selbstverständlich, dass ein zu grosses Maass von Lichteinfall

die Unterschiede verwischen und damit die Erscheinung undeutlicher machen könne, wie man dies bei Mydriasis sehe. Die individuellen Unterschiede werden durch Verschiedenheiten in der Intensität und Ausbreitung des Netzhautpigmentes erklärt.

Loring (32) kommt noch einmal auf seine Erklärungsweise zurück und vertheidigt sich gegen einige ihm von Brecht gemachte Ausstellungen. Er denkt sich, dass in der Gegend der Macula eine Depression existire, die man aber im anatomischen Präparate nicht sehe. Das matte Aussehen der Macula soll durch die stärkere Curve daselbst hervorgerufen sein, der Lichtreflex aber an der Stelle entstehen, wo eine Curve in die andere übergeht. Doch führt Loring auch jetzt keine anatomischen Beweise für seine Anschauung an, sondern stützt dieselben nur auf Versuche in einem Augenphantom. Auch Loring gibt an, dass die schwache Beleuchtung und die starke Vergrösserung das Auftreten des Reflexringes im aufrechten Bilde verhindern. Uebrigens könne man denselben auch im aufrechten Bilde manchmal, wenn auch nur theilweise sehen. Loring erwähnt eine Mittheilung von Wadsworth, der den Ring in einem myopischen Auge ganz im aufrechten Bilde sehen konnte. Loring erklärt dies daraus, dass bei Myopie bei der Untersuchung im aufrechten Bilde das Flammenbild weiter vorn im Glaskörper entstehe, ähnlich wie bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde. Man sollte deshalb den Reflex bei myopischen Augen häufiger sehen. Doch sei die Retina in myopischen Augen abnorm ausgedehnt.

Da man im gelben Fleck kein Sehroth findet, bezeichnet dies Schmidt-Rimpler in einer späteren Mittheilung (35) für einen weiteren Grund, warum die Macula dunkler erscheint als der übrige Augenhintergrund.

Parent (37) glaubt, dass die Verdünnung der Limitans und das seltenere Vorkommen der Stützfasern in der Maculagegend den Macularreflex erzeuge. Mit den anderen Beobachtern befindet er sich insoferne im Widerspruche, als er angibt, dass der Reflex auch im aufrechten Bilde zu sehen sei und bei erweiterter Pupille sogar deutlicher erscheine.

Michel (61) sagt: »Die hell glänzende Linie (um die Macula) dürfte wohl als Ausdruck der Grenzlinie der die Macula umkreisenden dichten Lage dicker Nervenfaserbündel gegenüber den spärlichen und äusserst dünnen Nervenfasern der Macula selbst zu betrachten sein.«

Die Beschreibung, die Vossius (54) gibt, enthält einen Hinweis darauf, dass der Reflex oft nur als ein Halbkreis erscheine, der wie der hufeisenförmige Reflex in der Fovea mit den Drehungen des Spiegels die Richtung seiner Concavität ändert. Vossius lässt ihn abhängen von der Tiefe der Netzhautgrube und der Steilheit der Ränder. Je allmäliger der Uebergang der Grubenoberfläche in die übrige Retina stattfindet, desto

undeutlicher wäre der Reflex. Das dunkle Aussehen der Macula wird nach Vossius bloss durch die Dünnheit der Retina daselbst bewirkt. Anatomische Befunde scheinen Vossius für seine Ansicht zu sprechen. An denselben zeigt sich der Rand der an der Stelle der Macula befindlichen Grube bald steiler, bald flacher.

Gunn (55) sucht seine oben bereits citirte Theorie über die Entstehung der Netzhautreflexe auch auf den Macularreflex auszudehnen. In der Gegend der Macula um die Fovea ist die Retina dicker als in der Umgebung der Macula. Es wäre deshalb eine Convexität der Retinaloberfläche in dem peripheren Theile der Macula vorauszusetzen, auf welche Convexität nach der Peripherie zu eine Concavität folgt. Durch diese Verhältnisse könnte dann der Macularreflex auf dieselbe Weise sich bilden, wie die Reflexe neben den Gefässen, nämlich durch totale Reflexion an dem Abhange der convexen gegen die concave Fläche.

Abbildungen des Macularreflexes rühren her: zunächst von Liebreich (7), der den Reflex in einem sehr dunkel pigmentirten Auge abbildet. Der Reflex ist hier nach aussen sehr undeutlich begrenzt. Jaeger (13) zeichnet die Retina desselben Auges einmal im verkehrten Bilde und dann im aufrechten Bilde. In dem im aufrechten Bilde gezeichneten Bilde fehlt der Macularreflex (Taf. V. Fig. 29). Dieses Bild ist nach der Untersuchung mit dem lichtschwachen (Helmholtz'schen) Spiegel gezeichnet. Dasselbe Auge im verkehrten Bilde dargestellt (Taf. V, Fig. 30), zeigt den Macularreflex. Jaeger gibt im Texte an, dass die dunkle Stelle in der Mitte eine Länge von $1^1/_4$ und eine Breite von mehr als $^3/_4$ eines Opticusdurchmessers habe, mit der Längsaxe schräg von aussen oben nach innen unten in einer Winkelrichtung von 15^0 zur horizontalen Mittellinie des Augengrundes gerichtet, ihre Begrenzung scharf sei. Der sie umgebende Saum hat die Breite eines mittleren Arterienstammes und keinen scharf gezeichneten Umfangscontour. Der Reflex hat eine helle weissgelbliche Farbe und hat in seiner ganzen Erscheinung etwas unsicheres, unbestimmtes, schwankendes. (Der Reflex ist in der Abbildung übrigens sowohl nach innen gegen den dunklen Fleck, als auch nach aussen hin gleichmässig scharf begrenzt dargestellt.)

Wecker und Masselon (41. Fig. 5) bilden einen doppelten Macularreflex ab. Den äusseren Ring, welcher mit den von Anderen beschriebenen und gezeichneten Reflexen identisch ist, führen sie auf einen Reflex des Lichtes an dem leicht erhabenen Vorsprung, welcher den Umfang der Macula bildet, zurück. »Zwischen diesem Ringe und der Macula,« heisst es im Text, »sieht man oft einen zweiten zum ersten concentrischen Ring, der weniger hell ist.« Er soll dadurch entstehen, dass die Retina in die Fovea nicht in einer geraden Linie abfällt, sondern eine leichte Curve

macht, an deren Erhabenheit ein neuer Reflex auftritt. (Auch Brecht erwähnt übrigens einen solchen zweiten Reflexring.)

Magnus (24) bildet ebenfalls den ringförmigen Reflex um die Macula und einen hellen Punkt in der Mitte derselben ab. Die Zeichnung ist nach dem verkehrten Bilde entworfen.

Die einzige Abbildung, die den Macularreflex (wie er in der That öfter erscheint) als eine Sichel darstellt, ist jene bei Stellwag (15).

Eigene ophthalmoskopische Beobachtungen.

Der Macularreflex erscheint entsprechend der schon von Liebreich gegebenen Beschreibung im verkehrten Bilde bei nicht künstlich erweiterter Pupille als ein glänzender Schimmer, der einen dunklen, gewöhnlich braunrothen matten Fleck umgibt. Meist erscheint dieser Glanz gegen den dunklen Fleck fast oder ganz scharf abgegrenzt, während er sich nach aussen in der Regel allmälig verliert, allerdings mit bedeutenden individuellen Verschiedenheiten. Nie konnte ich einen sowohl nach aussen als nach innen gleich scharf contourirten Ring sehen, wie er von Jaeger abgebildet wird.

Die dunkle Stelle innerhalb des Ringes hat ebenfalls eine, bei verschiedenen Personen ungemein verschiedene Grösse. Es gibt Augen, in denen sie selbst etwas kleiner als die Papille erscheint, andere, wo sie $1^1/_2$ mal so gross ist als die Papille oder selbst noch etwas grösser. Dabei ist der horizontale Durchmesser als Maass angenommen. Die Stelle ist queroval oder rund (u. zw. sehr oft ganz rund) und liegt mit ihrem Centrum mehr oder minder deutlich unter dem verlängerten horizontalen Meridian der Papille, manchmal auch nicht deutlich tiefer. Die Entfernung des Lichtringes von dem äusseren Rande der Papille ist entsprechend seiner sehr verschiedenen Grösse und seiner verschiedenen Breite eine wechselnde von etwa $1^1/_2$—2 Papillendurchmessern. In sehr seltenen Fällen sieht man einen zweiten, weniger stark glänzenden Ring, doch ganz deutlich innerhalb des grossen Ringes. Der Durchmesser dieses kleinen Ringes ist bedeutend geringer als der des grossen Ringes, so dass die beiden Ringe durch einen ziemlich grossen Zwischenraum getrennt werden. Er umgibt den kleinen dunklen rothbraunen Fleck, den man in der Mitte der Maculagegend sieht und von dem weiter unten die Rede sein wird.

Der Reflexring ist gewöhnlich nur dann in seiner Gänze sichtbar, wenn man ziemlich genau in der Richtung der Gesichtslinie ins Auge blickt. Sieht man aber, was allerdings nur bei nicht zu enger Pupille in aus-

giebigem Maasse gelingt, in der Art, wie es in Fig. 6 dargestellt ist, von der temporalen Seite her ins Auge hinein, so verwandelt sich der Ring in eine Sichel, deren Concavität in dem verkehrten Bilde gegen die Schläfenseite hin sieht, also in Wirklichkeit gegen die Nasenseite. Umgekehrt erscheint die Sichel natürlich gerichtet, wenn man von der Nasenseite her auf die Macula blickt. In diesem letzteren Falle liegt die Sichel also zwischen Fovea und Papille, im ersteren befindet sich die Fovea zwischen der Sichel und der Papille. Diese Gestaltsänderungen des Macularreflexes kann man in manchen Augen mit sehr grosser Deutlichkeit wahrnehmen, in anderen nur schwer oder gar nicht. Man kann jedoch immer eine sehr grosse Veränderlichkeit in der Form des Reflexes beobachten. Eine kleine Verschiebung der Linse — und man sieht den Reflex in einer ganz anderen Form, das heisst als Sichel, die ihre Spitzen nach einer anderen Richtung kehrt als früher oder in Form eines Ringes. Dagegen gibt es Fälle, wo man den Macularreflex überhaupt nur schwer als einen Ring sieht, fast immer nur als eine zwischen Fovea und Papille gelegene Sichel (also mit der Concavität im verkehrten Bilde nasalwärts). Nie konnte ich aber einen Fall finden, in dem man den Macularreflex fast immer als eine Sichel gesehen hätte, die im verkehrten Bilde mit der Concavität gegen die Schläfenseite gerichtet gewesen wäre.

Verschiebt man bei ruhig gehaltenem Spiegel die Linse vor dem Auge (wie in Fig. 7), so entsteht aus dem Lichtringe eine Sichel mit der Convexität in dem verkehrten Bilde nach jener Seite, nach welcher man die

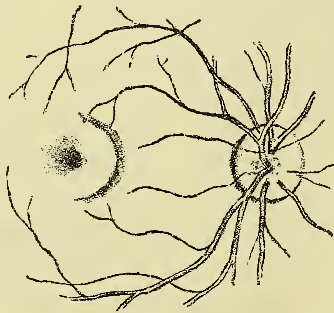


Fig. 33.

Linse verschoben hat, so dass also bei einer Verschiebung der Linse nach der Schläfenseite die Sichel in Wirklichkeit am nasalen Rande der Macula zwischen Fovea und Papille entsteht. Manchmal erscheint bei diesen Verschiebungen nur zwischen Fovea und Papille eine deutliche Sichel, also am nasalen Rande der Macula, während bei der entsprechenden Verschiebung, bei der sonst die Sichel am temporalen Rande der Macula auftritt,

daselbst ein breiter, mehr flächenhafter Reflex sichtbar wird, der aber gegen die Fovea zu sich wie die Sichel scharf abgrenzt. In einem Falle, wo ich beim Einblick in der Richtung der Gesichtslinie einen doppelten Ring beobachtet hatte, verwandelte sich bei der Verschiebung der Linse gegen die Nasenseite der grosse Ring in eine Sichel von der oben angegebenen Stellung, aus dem kleinen Ringe wurde aber eine etwa dreieckige glänzende Fläche, wie dies die Fig. 33 darstellt.

Eine blosse Drehung des Spiegels bei ruhiggehaltenem Kopfe des Beobachters und ungeänderter Lage der Convexlinse bringt keine deutliche Veränderung in dem Macularreflex hervor.

Erweitert man die Pupille ad maximum durch Atropin oder Homatropin, so ist das Bild ein anderes. Zunächst ist hervorzuheben, dass der Macularreflex, wenn er bei nicht erweiterter Pupille zu sehen war, auch bei Mydriasis fast ausnahmslos zu beobachten ist. Allerdings ist er dann viel weniger glänzend und auch meist nicht so breit als bei enger Pupille. Er hebt sich aber auch jetzt nicht mehr von einer innerhalb des Ringes gelegenen dunklen, matten Stelle ab, sondern die ganze beleuchtete Netzhautpartie erscheint ziemlich gleichmässig und natürlich bedeutend heller beleuchtet. Bei den oben angegebenen Verschiebungen des Spiegels und der Linse bekommt man dieselben Bilder wie bei enger Pupille, doch ist die Form des Reflexes bei den stärkeren Excursionen, die mit dem Spiegel und mit der Linse möglich sind, noch viel wandelbarer.

Manchmal kann man wahrnehmen, dass die Maculagegend eine schwache und ganz diffuse dunklere Färbung besitzt, jedoch lange nicht so dunkel als jene dunkle Stelle innerhalb des Reflexringes bei enger Pupille und auch gegen denselben nicht scharf abgesetzt, sondern meist noch etwas ausgebreiteter als der Ring, wenigstens dann, wenn man die ganz allmälig sich verlierenden Randtheile dieser dunkleren Färbung berücksichtigt. Es ist das jenes Bild, wie man es sehr oft bei älteren Leuten, wo der Reflexring nicht mehr sichtbar ist, beobachten kann.

Wir haben bei der eben gegebenen Beschreibung vorausgesetzt, dass die Untersuchung bei weiter Pupille ganz in der gewöhnlichen Weise, bei dem gewöhnlichen Abstande der Lampe vom Spiegel und des Spiegels von der Convexlinse vorgenommen wurde. Wirft man aber in der auf Seite 19 beschriebenen und in Fig. 5 abgebildeten Weise parallele Strahlenbündel auf die Netzhaut, dann wird man stets den Macularreflex sammt der matten dunklen Stelle, die er umgibt, in vollster Deutlichkeit, ganz wie bei enger Pupille oder vielmehr in noch grösserer Deutlichkeit und Lichtstärke beobachten können. Der Reflexring ist dabei viel breiter. Oft ist die ganze Netzhaut, so weit man im Stande ist, dieselbe noch zu übersehen, von einem hellen schimmernden Glanze bedeckt. Innerhalb dieser glänzenden Fläche nimmt sich dann die dunkle Stelle ganz so aus, als ob

man aus einem glänzenden Stoffe mit einem Locheisen ein rundes Stück ausgeschlagen hätte, so dass daselbst eine matte dunkelrothe Unterlage sich dem Beschauer darbietet. Allerdings ist die dunkle Stelle bei weiter Pupille entschieden nicht so dunkel wie bei enger, doch bekommt man infolge des viel stärkeren Glanzes des Reflexringes in ihrer Umgebung zunächst den Eindruck, als ob sie ebenso dunkel wäre. In nicht zu seltenen Fällen sieht man aber auch den hellglänzenden sehr breiten Ring nach aussen zu ebenfalls recht scharf begrenzt. Auch beim Einfalle paralleler Strahlenbündel auf die Netzhaut sieht man ganz änliche Veränderungen in der Form des Reflexes bei den Bewegungen der Linse und des Spiegels.

Untersucht man im aufrechten Bilde, dann muss man auch, wie wir dies schon früher gethan haben, die verschiedenen Beleuchtungsspiegel unterscheiden. Mit dem Helmholtz'schen Spiegel ist niemals etwas von dem Macularreflex zu finden. Mit dem schwächeren Spiegel von 18 *cm* Brennweite, demselben, den wir auch zur Untersuchung im verkehrten Bilde benützt haben, oft noch deutlicher mit dem Planspiegel, findet man nicht selten einen Theil des Reflexringes ganz deutlich als eine kurze Sichel, welche durch die Mitte des Zerstreuungsbildes der Flamme zieht. Es gibt aber auch Augen, in denen mit dem schwachen concaven Spiegel der Macularreflex in seiner ganzen Ausdehnung, wenn auch nicht so hell, wie im verkehrten Bilde, wahrzunehmen ist. Verwendet man den starken Concavspiegel von 8 *cm* Brennweite, so erscheint in fast jedem Auge, in welchem der Macularreflex im verkehrten Bilde gesehen wurde, derselbe auch im aufrechten. Vollends kann man den Macularreflex immer hervorrufen, wenn man im aufrechten Bilde beim Einfalle paralleler Strahlenbündel auf die Netzhaut untersucht. (Fig. 15.) Das Bild gibt dann in seiner Brillanz fast nichts jenem nach, das wir beim Einfalle paralleler Strahlenbündel im verkehrten Bilde erhalten.

Was das Vorkommen des Macularreflexes betrifft, so sieht man ihn entschieden viel schöner und glänzender in dunkel pigmentirten Augen, ferner auch besser bei Hypermetropie oder Emmetropie als bei Myopie. Am deutlichsten jedenfalls bei Hypermetropie. Bei Neugeborenen konnte ich, auch wenn es mir gelang, die Maculagegend zu untersuchen, den hellen Ring um dieselbe nicht sehen. Ist in einem Auge ein starker Astigmatismus vorhanden, so erscheint der Ring in derselben Weise verzogen, wie es auch die Papille ist, also bei einem Astigmatismus mit stärker brechendem verticalen Meridian in horizontaler Richtung, somit stärker queroval als dies sonst wohl beobachtet wird.

Schliesslich will ich noch eine Beobachtung erwähnen, die ganz vereinzelt dasteht. Bei einem Mädchen, das an beiden Augen myopischen Astigmatismus hatte, mit der stärkeren Myopie im verticalen Meridian, fand sich am rechten Auge, das mit — 2·0 D cyl. Axe horizontal blos S. $^{5}/_{18}$ hatte, und in dem kein Conus zu sehen war, im verkehrten Bilde auffallender Weise ein längsovaler Macularreflex vor. Im auf-

rechten Bilde sah man eine Andeutung dieses Reflexringes, ausserdem aber im horizontalen Meridian der Retina gerade dort, wo der nasale und temporale Rand des Reflexringes sein müsste, zwei verschwommene Sicheln, die sich bei Verschiebungen des Spiegels vor dem Auge immer gleich, aber immer in entgegengesetzter Art verändern, wie der Fovealreflex, den sie um etwa das Doppelte an Grösse übertreffen.

Ueber die Erklärung dieser Erscheinung siehe unten bei der Erklärung des Fovealreflexes.

Erklärung der ophthalmoskopischen Erscheinungen.

Betrachtet man die verschiedenen Erklärungen, die für die Entstehung des Macularreflexes gegeben wurden, so kann es einem nicht entgehen, dass sie entweder direct von der Hand zu weisen sind oder deshalb nicht befriedigen können, weil sie nicht genügend bewiesen sind.

Bereits Mauthner (11) hat hervorgehoben, dass durch das Fehlen der Nervenfaserschicht (Liebreich) oder das Fehlen der verbreiterten Enden der Müller'schen Radiärfasern (Schweigger) wohl der Mangel an Glanz im Bereiche der Macula erklärt werden könnte, aber nicht der glänzende Ring. Ganz dasselbe kann man gegen die Ansicht von Schmidt-Rimpler einwenden. Wenn die gelbe Farbe der Macula dadurch, dass sie der Unterlage einen dunkleren Farbenton und ein abgestumpfteres Aussehen verleiht, die Ursache der dunklen in der Maculagegend innerhalb des Reflexringes mit dem Spiegel sichtbaren Stelle wäre, so würde diese Stelle nicht die fast oder ganz scharfe Begrenzung zeigen, wie man sie in der That beobachtet. Die gelbe Färbung der Macula verliert sich an der Peripherie des gelben Fleckes, wie man an einer normalen Netzhaut sehen kann, die man rasch aus einem soeben enucleirten Auge heraushebt und auf eine helle Unterlage bringt, nur sehr allmälig. Dies wird ja übereinstimmend von allen Untersuchern angegeben und bildet auch den Grund dafür, dass man nur sehr schwer im Stande ist, die Grösse des gelben Fleckes mit Genauigkeit anzugeben. Man kann aber auch den hellen Ring um die dunkle Stelle nicht mit Schmidt-Rimpler als den »optischen Ausdruck des Gegensatzes zwischen dem abgestumpften Tone der Macula und der stärker reflectirenden angrenzenden Netzhaut« betrachten. Der helle Ring erscheint ja viel heller, glänzender als irgend eine Partie der übrigen Netzhaut. Legt man ein Stück eines matten dunkelrothen Papiers auf eine Unterlage von glänzendem hellrothen Papier, so wird der Glanz der Unterlage in der Umgebung des matten Fleckes nicht stärker.

Lorings Erklärung wurde bereits von Leber zurückgewiesen, da sie mit den anatomischen Befunden nicht im Einklang steht.

Wenn ich Vossius richtig verstehe, so würde der ringförmige Reflex nach seiner Ansicht an den Rändern der Netzhautgrube entstehen. Es lässt sich dagegen das Nämliche anführen, was Leber gegen Lorings An-

sicht vorgebracht hat, nämlich, dass die Anatomie nach den bisher gemachten Befunden den Durchmesser der Netzhautgrube viel kleiner angibt, als dass der grosse Macularreflex an den Rändern derselben entstehen könnte. Man kann auch den dunklen Fleck nicht auf die Verdünnung der Netzhaut in dieser Gegend beziehen (Vossius), denn die Verdünnung erfolgt nur allmälig. Der Fleck könnte also nur nach und nach gegen seine Mitte an dunkler Farbe zunehmen, was aber durchaus nicht der Fall ist.

Auch der Meinung, die Michel ausgesprochen hat, kann man nicht beipflichten. Die Lage der Nervenfasern nimmt ja ebenfalls allmälig gegen die Macula hin an Dicke ab. In der Umgebung der Macula, an der Stelle, wo der Reflexring zu sehen ist, ist die Schicht der Nervenfasern nicht dicker als im übrigen Augenhintergrunde, sondern im Gegentheile bedeutend dünner. Der Macularreflex erscheint aber als glänzender Ring, dessen Helligkeit die der übrigen Netzhaut um ein Bedeutendes übertrifft.

Dass Gunns Theorie der Entstehung durch totale Reflexion unhaltbar ist, indem sie auf physikalisch unmöglichen Annahmen beruht, wurde bereits oben bei Gelegenheit der übrigen Netzhautreflexe nachgewiesen.

Das was Brecht zur Erklärung des Reflexringes vorgebracht hat, lässt uns sowohl die äussere, wenn auch nicht scharfe Begrenzung des Lichtringes, sowie dessen elliptische Form unerklärt. Auch müsste der Ring direct bei weiter Pupille breiter, bei enger schmäler aussehen. Es ist aber gerade das Gegentheil zu beobachten.

Von den früher beschriebenen Präparaten wurde das Erste, da dabei die Netzhaut nicht gefaltet und von ihrer Unterlage abgehoben war und die Schnitte vollkommen senkrecht auf die Netzhautoberfläche gefallen waren, als Grundlage für die weiteren Untersuchungen angenommen. Es wurde zunächst eine Photographie nach dem Präparate in 25facher Vergrösserung angefertigt für deren sehr schöne Ausführung ich Herrn Dr. Bérard verpflichtet bin. Es zeigte sich dabei, dass die Wölbung der äusseren Netzhautoberfläche nicht vollkommen einem Kreisabschnitte von 285 *mm.* Radius entsprach, es war vielmehr der von der Fovea nasalwärts gelegene Theil des Schnittes flacher, der temporalwärts gelegene stärker gekrümmt. Es wurden deshalb in der Photographie auf dem Contour der äusseren Oberfläche der Retina in Abständen von 2 zu 2 *mm* Senkrechte errichtet. Hierauf wurde ein Stück einer Kreislinie mit dem Halbmesser von 57 *cm* gezeichnet und von demselben in Abständen von 4 und 4 *mm* Radien gegen den Mittelpunkt des Kreises gezogen. Auf diese wurden von der Kreisperipherie die verdoppelten, bei der Messung der Photographie gefundenen Dickenmaasse der Retina aufgetragen. In dieser Weise war der Durchschnitt der Netzhaut (Fig. 34) in 50facher Vergrösserung dar-

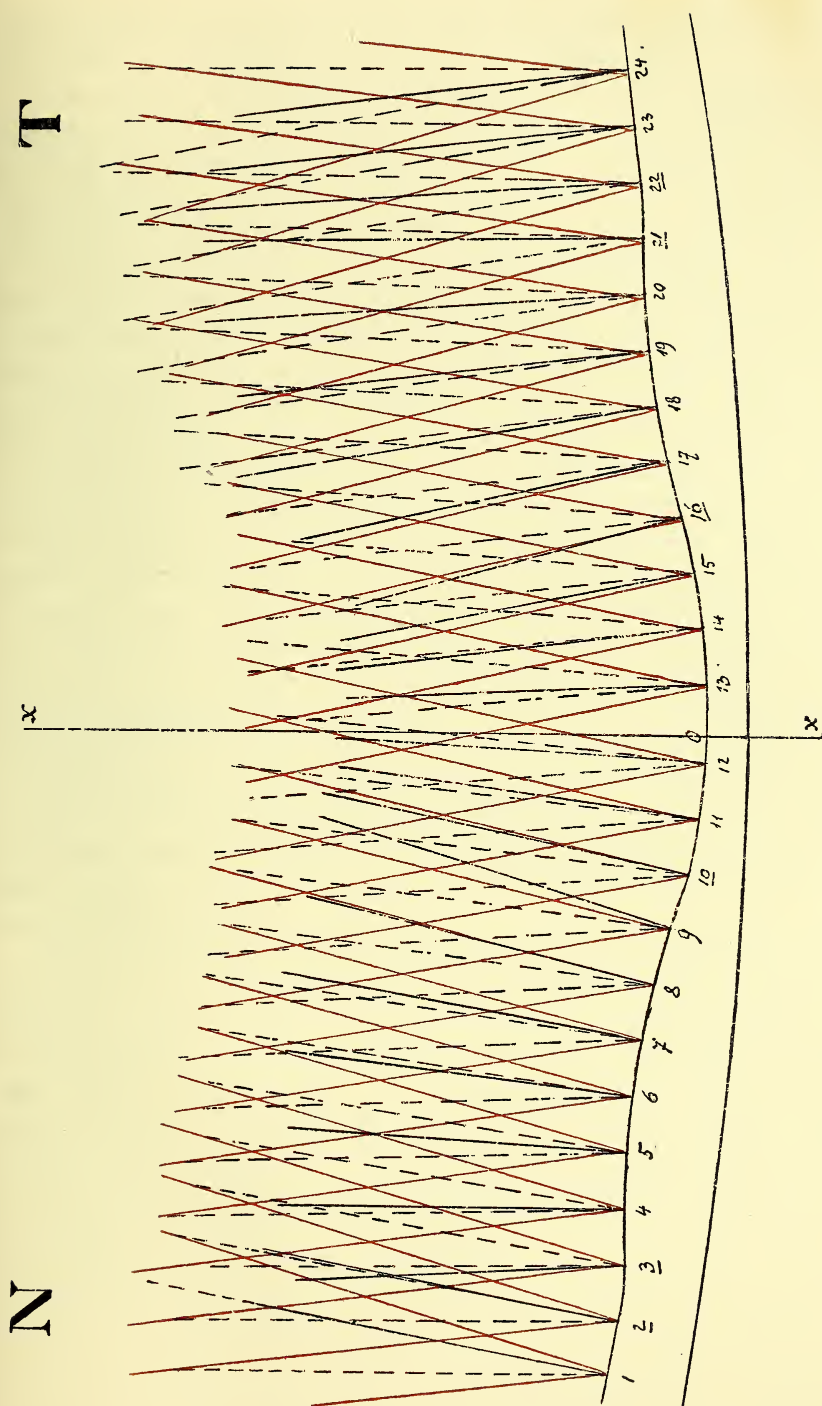


Fig. 34.

gestellt, wobei auch das Relief der inneren Retinaloberfläche mit möglichster Genauigkeit die wirklichen Verhältnisse wiedergeben musste.

Es war nun nothwendig, die Einfallslothe für die einzelnen Punkte zu ermitteln, an denen die Reflexion des Lichtes an der inneren Netzhautoberfläche construirt werden sollte. Es wurde der Contour der inneren Retinaloberfläche an der Zeichnung in Abschnitte von 8 *mm* Länge getheilt u. zw. so, dass sowohl an der nasalen als an der temporalen Seite an der dicksten Stelle der Retina mit der Theilung begonnen und diese dann nach rechts und links fortgesetzt wurde. Dabei wurde gesucht, die concaven und convexen Flächen möglichst genau auf sphärische Krümmungen zu reduciren, um von den Krümmungsmittelpunkten derselben die Einfallslothe zu den betreffenden Punkten an der inneren Oberfläche der Netzhaut ziehen zu können. Es zeigte sich dabei Folgendes: Das Stück der Netzhaut am nasalen Ende der Maculagegend (die Numerirung der einzelnen Punkte beginnt an der nasalen Seite) von 1 bis 2 hat an seiner inneren Oberfläche denselben Krümmungsradius wie die ganze äussere Netzhautoberfläche. Von 2 bis 3 ist die Krümmung nach vorn concav mit einem Krümmungsradius von 34 *mm* gezeichnet; von 3 bis 10 nach vorn convex, Krümmungsradius = 137·5 *mm*; von 10 bis 16 nach vorn concav, Krümmungsradius = 104·4 *mm*; von 16 bis 21 nach vorn convex, Krümmungsradius = 153 *mm*; von 21 bis 22 nach vorn concav, Krümmungsradius = 143 *mm*; 22 bis 24 allmälig in der Dicke abnehmend entsprechend den gefundenen Maassen. Es zeigt sich also, dass der Fundus foveae nicht, wie es im Präparate — namentlich an dem gestreckteren nasalen Theil der Schnitte — den Anschein hatte, plan ist, sondern vielmehr in diesem Falle mit dem Clivus eine grössere nach vorn concave Fläche bildet.

Diese sphärischen Krümmungen fallen fast genau mit dem Contour zusammen, wie er durch die an den verschiedenen Stellen vorgenommenen Messungen gefunden wurde. Die ganze Länge des Netzhautstückes von 1 bis 24 entspricht einer Länge von 3·7 *mm* in der Wirklichkeit, kann also sehr wohl im verkehrten Bilde von dem Flammenbild, ja selbst von dessen mittlerem Theile mit Ausschluss der Randzone bedeckt werden. Von den Krümmungsmittelpunkten der verschiedenen Krümmungen wurden dann zu den den einzelnen Krümmungen angehörigen Punkten der inneren Netzhautfläche die Krümmungsradien gezogen. Sie sind in der Figur durch ausgezogene schwarze Linien angegeben.

Es wurde nun eine Linie xx, die optische Axe darstellend, durch die nach dem Präparate bestimmte Mitte der Fovea O gezogen. Wir konnten uns hier nämlich die Ungenauigkeit gestatten, dass wir die Mitte der Fovea an das hintere Ende der optischen Axe verlegten, während in Wirklichkeit die Fovea an dem hinteren Ende der Gesichtslinie, also einer Nebenaxe

liegt, welche die Pupille gewöhnlich nasalwärts von der optischen Axe durchschneidet. Die Unterschiede, die im Strahlenverlaufe zur Macula dadurch bedingt werden könnten, dass eben diese Nebenaxe nicht durch die Mitte der Pupille geht, werden dadurch vollständig aufgehoben, dass die beschriebenen und hier zu erklärenden Erscheinungen bei verhältnismässig bedeutenden Schwankungen in der Pupillenweite beobachtet werden.

Die Linie xx hatte im Einklange mit der 50fachen Vergrösserung des Netzhautschnittes eine Länge von 96 *cm* vom Punkte O an gerechnet. Diese Entfernung ist das 50fache des Abstandes der Pupillarebene von dem hinteren Brennpunkte des emmetropischen Auges (19·2 *mm*). Am vorderen Ende dieser Linie errichtete ich eine Senkrechte auf dieselbe, die den Durchschnitt der Pupillarebene mit der Ebene des Papiers bezeichnete. Auf dieser wurden von dem vorderen Ende der Linie xx — der Mitte der Pupille — nach beiden Seiten hin Abstände von 87·5 *mm* und 200 *mm* aufgetragen. Die Endpunkte dieser Entfernungen auf beiden Seiten entsprachen dann der 50fachen Vergrösserung einer Pupille von 3·5 *mm* und der 50fachen Vergrösserung einer solchen von 8 *mm* Durchmesser.

Zunächst wollen wir den Fall betrachten, wo bei einer Pupille von 3·5 *mm* Weite im verkehrten Bilde in der Weise untersucht wird, dass das Licht in der Richtung der optischen Axe xx einfällt. Wir brauchen, um den Strahleneinfall auf die einzelnen Punkte der inneren Netzhautfläche zu bestimmen, jetzt blos von den Endpunkten der Pupille, die wir mit p_1 und p_2 bezeichnen wollen, Linien zu den betreffenden Punkten zu ziehen. In Fig. 34 sind dies die gestrichelten schwarzen Linien. Der innerhalb je zweier solcher Linien enthaltene Raum ist der Durchschnitt des zu dem Durchschnittspunkte der Linien auf der inneren Oberfläche der Retina verlaufenden Strahlenkegels. Wird für jede der Linien mit Hilfe der Einfallslothe der reflectirte Strahl gezeichnet, so bilden diese beiden Linien wieder den von dem Punkte an der Netzhaut reflectirten Strahlenkegel.

Die aus der Pupille des untersuchten Auges heraustretenden Strahlenbündel können leicht dadurch gefunden werden, dass man von den Durchschnittspunkten der Randstrahlen mit der hinteren Haupt-Brennebene F_2F_2 Linien zu dem 2. Knotenpunkte zieht. Ferner verlängert man die reflectirten Strahlen, bis sie die zweite Hauptebene H_2H_2 schneiden und legt dann von diesem Punkte zur optischen Axe eine Parallele. Von dort, wo diese Parallele die vordere Hauptebene H_1H_1 schneidet, wird dann eine Linie gelegt, die derjenigen parallel ist, die von der hinteren Brennebene zum zweiten Knotenpunkte gezogen wurde.

Auf diese bekannte Weise wurden die aus der Pupille herauskommenden Strahlen weiter bis zur vorderen Brennebene S_1S_1 verfolgt. Das Verhalten zu dieser Letzteren soll später noch erörtert werden. Hier sei

zunächst erwähnt, dass die an der inneren Fläche der Netzhaut regelmässig reflectirten und die Pupille des Auges verlassenden Strahlen dann weiter bis zur Convexlinse verlaufen. Da wir Emmetropie vorausgesetzt haben, so sind die Strahlenbündel vor dem Auge nahezu parallel, sie werden also durch die Convexlinse annähernd in ihrer vorderen Brennebene vereinigt, divergiren dann wieder und können so, freilich auch nur zum Theile von dem Spiegelloche und schliesslich von der Pupille des Beobachters aufgefangen werden.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich also, dass man bei der Untersuchung der Maculagegend im verkehrten Bilde bei enger Pupille von bestimmten Stellen der inneren Retinaloberfläche regelmässig reflectirtes Licht wahrnehmen kann, während an anderen Stellen der inneren Oberfläche der Netzhaut die regelmässige Reflexion des Lichtes in der Weise stattfindet, dass die reflectirten Lichtstrahlen nicht vom Auge des Beobachters aufgefangen werden können. Die Partien, von welchen wir den Reflex wahrnehmen können (4—6 auf der nasalen Seite und 19—24 auf der temporalen) sind die dickste Stelle der Retina und jene Theile der inneren Netzhautoberfläche, wo die Verdickung in der Maculagegend, welche wie ein Wall die Netzhautgrube umgibt, wieder gegen das übrige Niveau der Netzhaut abfällt. Die Begrenzung des Reflexes ist in unserem Falle an der nasalen Seite nach beiden Seiten ziemlich scharf. An der temporalen, wo von 20—22 der grösste Theil des Lichtes aus der Pupille gelangt, ist auch da die grösste Helligkeit des Reflexes anzunehmen. Weiter gegen die Peripherie hin nimmt der Reflex allmälig an Intensität ab und würde man bei den gegebenen Verhältnissen daselbst keine scharfe Grenze des Reflexes beobachten können. Dies entspricht auch vollkommen der Beobachtung. Wir haben oben erwähnt, dass öfter der Reflex an der nasalen Seite eine viel schärfere Abgrenzung zeigt. Da nun in den Dickenverhältnissen der Netzhaut an den einzelnen Stellen im Bereiche der Macula und also auch in dem Relief der Netzhaut gegen den Glaskörper zu bedeutende individuelle Verschiedenheiten vorkommen, so ist der Reflex auch an der temporalen Seite dann schärfer nach aussen hin begrenzt, wenn daselbst die Verdünnung der Retina rascher erfolgt, als an dem der Construction zu Grunde gelegten Präparate. Ist die Netzhautanschwellung an der temporalen Seite überhaupt nur sehr gering und der Uebergang in die übrige Netzhautfläche sehr allmälig, so kann es recht wohl sein, dass der Macularreflex fast immer nur als Sichel zwischen Papille und Fovea erscheint, da dort, wie aus den Messungsresultaten hervorgeht, die Netzhautverdickung um die Netzhautgrube immer bedeutender ist als an der temporalen Seite.

Man kann schon aus der Fig. 34 ersehen, von welchen Punkten die reflectirten Strahlen aus der Pupille heraustreten können. Jene gestrichelten Linien, welche das Einfallsloth zwischen sich liegen haben, bezeichnen

Strahlenkegel, von denen nach der Reflexion an der inneren Netzhautoberfläche wenigstens ein Theil die Pupille verlassen kann. Denn der von der Schläfenseite kommende nach 5 gehende Strahl muss nach seiner Reflexion nasalwärts von dem Einfallslothe liegen. Lichtstrahlen, welche also zwischen einem solchen Strahle und dem Einfallslothe zur Netzhaut treten, müssen wenigstens theilweise aus der Pupille herausgelangen können. An jenen Stellen, wo das Einfallsloth den Winkel zwischen den beiden gestrichelten Linien halbirt, kommt alles reflectirte Licht aus der Pupille hervor.

Die reflectirten Strahlen wurden nun bis zu der Pupillarebene oder der ihre Verlängerung darstellenden Linie verfolgt und ihre Durchschnittspunkte mit dieser Linie bezeichnet. Man fand sogleich, welche von den reflectirten Strahlen aus der Pupille austreten können. Um diese Strahlen dann noch weiter in ihrem Verlaufe bestimmen zu können, wurde diese ganze in 50fâcher Vergrösserung angelegte Zeichnung auf das 10fache der Wirklichkeit reducirt. So entstand die auf der beigegebenen Tafel enthaltene Figur. Die von den einzelnen Netzhautpunkten reflectirten Strahlen sind durch die correspondirenden Ziffern bezeichnet. Die einfallenden Strahlen sind ganz weggelassen.

Aus der Betrachtung der Tafel ergibt sich Folgendes: Von 1, 2 und 3 gelangt kein regelmässig reflectirtes Licht aus der Pupille, von 4 dagegen etwa $^1/_3$ des betreffenden Strahlenkegels. Die von 5 reflectirten Strahlen verlassen fast sämmtlich die Pupille. Von 6 geht wieder nur ein Theil der Strahlen aus der Pupille heraus. Von 7, 8, 9, 10, 11 können keine Strahlen aus der Pupille treten, wohl aber von 12 etwa die Hälfte des reflectirten Strahlenbündels.

Ganz analoge Verhältnisse haben wir an dem temporalen Theile des horizontalen Netzhautschnittes. Auch hier erreicht von 13 etwa die Hälfte des Strahlenbündels die Pupille; von 14, 15, 16, 17, 18 gehen aber gar keine Strahlen aus der Pupille, von 19 ein Theil, von 20 nahezu alle, von 21 ein Theil, von 22 der grösste Theil, von 23 und 24 wieder ein Theil. Auf dieser Seite würde also am Ende des Netzhautstückes immer noch regelmässig reflectirtes Licht gesehen werden können. Es ist aber klar, dass in einiger Entfernung von 24 noch weiter temporalwärts wir an einen Punkt gelangen werden, von dem wir kein regelmässig reflectirtes Licht mehr in die Pupille werden treten sehen.

Auch der innere Durchmesser des Reflexringes, wie wir ihn nach unserer Zeichnung finden, steht mit den Ergebnissen der ophthalmoskopischen Untersuchung durchaus im Einklange. Die Entfernung von 6—19 ist in der 50fachen Vergrösserung 105 *mm*, folglich in Wirklichkeit 2·1 *mm*. Der innere Durchmesser des Reflexringes übertrifft aber in horizontaler Richtung meist den Durchmesser der Papille.

Ja auch der zweite kleinere, zum ersten concentrische helle Ring, den man freilich selten wahrnehmen kann, erklärt sich nach Fig. 34 und der auf der Tafel gegebenen Zeichnung sehr gut. Der Theil der Retina von 10—16 ist nach vorn concav mit dem Krümmungsradius von 104 *mm* in der Figur, was in Wirklichkeit einem Halbmesser von etwa 2 *mm* entsprechen würde. Die Brennweite dieses Hohlspiegels wäre also = 1 *mm*. Diese Fläche würde von einer 3·5 *mm* weiten Pupille ein Bild im Durchmesser von 0·18 *mm* entwerfen. Von diesem Bilde wird dem Beobachter aber nur ein ringförmiger Theil sichtbar, weil der Durchmesser der Foveola, wie wir weiter unten sehen werden, nicht viel kleiner ist. Nur vor jenem Theil der inneren Netzhautoberfläche, welcher die angegebene concave Krümmung hat, kann der Beobachter das von dieser concaven Fläche erzeugte Bild sehen. (Bei 12 und 13.)

In einem Auge, in dem die nach dem Grunde der Fovea zu abfallende innere Netzhautoberfläche keine nach vorn concave von der Foveola in der Mitte unterbrochene Wölbung hat, sondern eine schiefe Ebene darstellt, kann auch der zweite kleinere Reflexring nicht entstehen. Bei einem grösseren Krümmungshalbmesser der den zweiten Reflexring bildenden concaven Fläche ist der äussere Durchmesser des zweiten Reflexringes aber grösser. Wenn gleichzeitig die Foveola sehr gross ist, so kann der Ring selbst ebenso schmal sein wie früher bei der stärkeren Wölbung der grossen concaven Fläche.

Schmidt-Rimpler hat den zweiten Lichtkreis um die centrale dunklere Partie durch einen Reflex an dem convexen, gewulsteten Uebergangstheile der Fovea erklärt. Der Rand der Fovea liegt aber, wie wir gesehen haben, viel weiter von der Mitte derselben, der Durchmesser der Fovea ist viel grösser.

Warum sieht man nun den Reflexring um die Macula bei erweiterter Pupille in anderer Weise, d. h. nicht so deutlich und nicht so glänzend und besonders warum fehlt die matte dunkle Stelle, die der Ring umschliesst? Betrachten wir Fig. 2 und 3, so kann man wahrnehmen, dass bei weiter Pupille in den in diesen Figuren dargestellten Fällen das Licht kaum unter anderen Winkeln auf die Netzhaut gelangt als bei enger Pupille. Im letzteren Falle gehen die Strahlenbündel von den Rändern der engen Pupille pp aus, im ersteren Falle von den Ueberkreuzungspunkten aa, welche hinter der Ebene der Pupille, aber nur wenig weiter von einander entfernt liegen als pp. Die Richtung der auf die Netzhaut fallenden Strahlen kann also nicht sehr bedeutend geändert sein. Allerdings sind die einzelnen Strahlenbündel, welche zu den einzelnen Punkten der Retina gehen, breiter. Wenn das Flammenbild FF in Fig. 3 grösser ist als in der Figur und weiter vom Spiegel entfernt, was ja in Wirklichkeit gewiss oft vorkommt, da der Abstand des Spiegels von der Lampe oft

kleiner ist als 50 *cm*, so würde die Divergenz der von FF (Fig. 3) gegen die Linse zu verlaufenden Strahlenbündel noch geringer werden. Damit werden aber auch die in die erweiterte Pupille gelangenden Strahlenbündel schmäler als in dem in Fig. 3 dargestellten Falle.

Die grössere Lichtmenge, welche bei weiter Pupille auf die Retina fällt, ist nicht durch eine Vermehrung der Intensität der Lichtquelle oder durch eine Annäherung des Flammenbildes an das Auge bedingt, sondern dadurch, dass jetzt das Diaphragma, welches die Iris darstellt, eine grössere Oeffnung hat, die Strahlenkegel, die zur Netzhaut treten, also breiter sind Infolge dessen sind aber auch die Strahlenkegel des regelmässig reflectirten Lichtes, die von den einzelnen Punkten der inneren Oberfläche der Retina ausgehen, breiter.

Da wir vorausgesetzt haben, dass das Licht genau in der Richtung der optischen Axe des Auges (die wir uns durch die Mitte der Fovea gehend denken) einfällt, so kann es sich, wenn wir den Lichteinfall auf die Netzhautgrube betrachten, nur um die mittleren Theile des Zerstreuungsbildes der Flamme handeln. Dieses hat 5 *mm* Durchmesser oder mehr, der Bereich, in welchem die Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche statthat, höchstens 2 *mm*. Gerade in diesem centralen Bereiche wird der Einfall des Lichtes bei weiter Pupille kein wesentlich anderer sein, da die Ueberkreuzungspunkte aa (Fig. 2 und Fig. 3) nicht viel weiter auseinanderliegen als die Ränder der engen Pupille pp.

Wir können also ohne grossen Fehler die Reflexionsverhältnisse für die Netzhautgrube, wie sie in der Tafel für die enge Pupille dargestellt sind, auch für die weite benützen. Es stellt sich dabei heraus, dass höchstens noch von 7 und von 18 Licht bei weiter Pupille aus dem untersuchten Auge heraustreten kann.

Je weiter freilich eine Netzhautstelle gegen die peripheren Theile des Flammenbildes liegt, desto schiefer wird das Licht von der anderen Seite her auf die Netzhaut auffallen. Liegt z. B. ein Punkt gegen das temporale Ende des Flammenbildes, so wird die Begrenzung des zu ihm gelangenden Strahlenkegels von der temporalen Seite her etwa die gleiche sein wie bei enger Pupille, von der Nasenseite her wird aber der Strahlenkegel durch eine fast von dem Rande der erweiterten Pupille kommenden Linie begrenzt. (Siehe Fig. 18).

In Fig. 34 sind die von den Rändern der weiten Pupille kommenden Strahlen durch rothe Linien dargestellt. Man kann aus dem Verhalten dieser rothen Linien entnehmen, von welchen Punkten bei weiter Pupille mehr Licht aus der Pupille heraustreten kann. Von 1 würden auch bei ungeändertem Verlaufe des reflectirten Lichtes bei erweiterter Pupille Lichtstrahlen aus der Pupille heraustreten. Es lehrt dies ein Blick auf die Tafel. Der Strahlenkegel, der nach 1 Fig. 34 bei weiter Pupille gelangt, wird

durch die von der nasalen Seite N herkommende gestrichelte Linie und andererseits von einer Linie begrenzt, die nahezu vom temporalen Pupillarrande kommt, also fast der rothen von der temporalen Seite T herkommenden Linie entspricht. Von dem von 1 reflectirten Strahlenkegel wird folglich mehr Licht aus der Pupille kommen, denn der reflectirte Strahl für die rothe von der Schläfenseite kommende Linie in Fig. 34, liegt in der Tafel mehr gegen das Centrum der Pupille als ①. Dasselbe gilt für 2 und für die gegen die temporale Seite liegenden Punkte 23, 24. Es müsste also zunächst der Reflexring um die Macula etwas breiter erscheinen. Wir werden weiter unten sehen, dass das diffus reflectirte Licht auf die Breite des Ringes Einfluss übt. Im Uebrigen gelangt das reflectirte Licht nur von denselben Punkten der inneren Netzhautoberfläche aus der Pupille heraus wie bei enger Pupille.

Wenn wir bedenken, dass die aus dem Auge austretenden und von den einzelnen Punkten der Retina kommenden Strahlencylinder viel breiter sind als bei enger Pupille, dass also auch die Strahlenkegel, welche nach der Ueberkreuzung der Strahlen im vorderen Brennpunkte der Convexlinse gegen den Spiegel zu auseinander fahren, breiter sind und dass nur infolge der grösseren Breite dieser Strahlenkegel mehr Licht in ihnen enthalten ist, so werden wir bei der unveränderten Grösse des Spiegelloches verstehen, dass nun auch von allen diesen Punkten nicht mehr *regelmässig* reflectirtes Lict ins Spiegelloch und ins Auge des Beobachters gelangen kann als bei enger Pupille.

Anders verhält sich die Sache mit dem diffus reflectirten Licht. Wird eine Stelle der Netzhaut in Folge der Vergrösserung der Pupille und der dadurch bedingten Verbreiterung des Strahlenkegels stärker beleuchtet, so ist die von dieser Stelle diffus reflectirte Lichtmenge auch innerhalb des zum Spiegelloche verlaufenden Strahlenkegels grösser. Die betreffende Netzhautstelle erscheint dem Beobachter auch wirklich heller.

Es kommt bei erweiterter Pupille von der beleuchteten Partie der Netzhaut viel mehr diffus reflectirtes Licht, wodurch eben auch die mittlere Partie der Macula im Bereiche der Netzhautgrube sehr hell aussieht. Bei enger Pupille wird somit von der geringeren ins untersuchte Auge dringenden Lichtmenge von der der Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche entsprechenden Gegend bereits sehr viel in einer solchen Richtung regelmässig reflectirt, dass dieser Theil des Lichtes nicht ins Auge des Beobachters gelangen kann. Das nach der regelmässigen Reflexion an der inneren Oberfläche der Netzhaut von dem eingedrungenen Lichtquantum noch übrig gebliebene Licht dringt dann in die Netzhaut ein, seine Menge ist aber so gering, dass durch die diffuse Reflexion desselben von der Netzhaut und besonders dem Pigmentepithel dem Beobachter diese Gegend der Retina nur sehr schwach beleuchtet erscheinen kann. Die Stelle muss

auch matt, die Farbe des Augengrundes daselbst »stumpf« aussehen, weil eben absolut kein Glanz von der Netzhaut wahrgenommen werden kann. Der Glanz beruht ja auf regelmässiger Reflexion des Lichtes.

Bei erweiterter Pupille wird zwar das Licht an der Netzhautgrube ebenfalls von der inneren Oberfläche der Netzhaut in der Richtung regelmässig reflectirt, dass man daselbst keinen Glanz sehen kann; die nach dieser Reflexion bis zum Pigmentepithel vordringende Lichtmenge ist nun aber so gross, dass nach der daselbst erfolgenden diffusen Reflexion des Lichtes die der Netzhautgrube entsprechende Stelle der Macula dem Beobachter hell erscheint.

Da man nun bei weiter Pupille aber von solchen Theilen der inneren Retinaloberfläche peripher von der Netzhautverdickung noch regelmässig reflectirtes Licht sehen kann, von denen man bei enger Pupille kein regelmässig reflectirtes Licht mehr erhält, so sollte man freilich zunächst erwarten, dass der Reflexring bei weiter Pupille breiter aussieht als bei enger, sehr oft ist er aber im Gegentheil schmäler. Um dies zu verstehen, darf man nicht vergessen, dass die ganze beleuchtete Netzhautpartie durch diffus reflectirtes Licht sehr hell aussieht. Von da, von wo wir nur wenig regelmässig reflectirtes Licht mit dem Spiegelloche auffangen, wird dasselbe innerhalb der grossen Menge von diffus reflectirtem Licht nicht deutlich erkennbar werden. Der Reflexring wird also nur dort auftreten, wo sehr viel Licht regelmässig in für den Beobachter günstiger Weise zurückgeworfen wird. Dies ist aber auch nur von denselben Stellen wie bei enger Pupille der Fall, ja es ist sehr wohl möglich, dass uns eben infolge der hellen Erleuchtung des Augengrundes der Reflexring bei weiter Pupille noch schmäler erscheint als bei enger.

Die starke Absorption des einfallenden Lichtes im Pigmentepithel bei stark pigmentirten Augen und die deshalb geringe Quantität des diffus reflectirten Lichtes ist ja wohl auch der Grund, weshalb der Reflex im Allgemeinen bei stärker pigmentirten Augen deutlicher und schöner gesehen wird. Die Menge des regelmässig reflectirten und vom Auge des Beobachters aufgefangenen Lichtes kann in einem stärker pigmentirten Auge ebenso gross sein, wie in einem schwächer pigmentirten. Die Menge des diffus reflectirten Lichtes, das vom Untersucher gesehen wird, ist aber bei dem schwächer pigmentirten Auge grösser.

Wirft man nun im verkehrten Bilde parallele Strahlenbündel in der Weise wie in Fig. 5 auf die Retina, so sieht man den Reflexring meist noch breiter, schöner und glänzender als sonst und den dunklen matten Fleck ebenfalls, wenn auch nicht so dunkel. Die Erklärung dafür liegt in der grossen Menge von Licht, welches jetzt gerade auf die mittlere Partie des beleuchteten Feldes (ab Fig. 5) fällt. Je mehr Licht zur inneren Oberfläche der Netzhaut gelangt, desto mehr kann auch regelmässig reflec-

tirt werden. Die Convergenz jener Strahlen, welche als Randstrahlen der Strahlenkegel zu den einzelnen Netzhautpunkten gehen, wird durch den Winkel KaP (Fig. 5) bestimmt.

Construirt man den Strahleneinfall auf die Netzhaut auf dem in Fig. 34 gezeichneten Netzhautdurchschnitt, indem man nach jedem der Punkte 1—24 Linien parallel Pa und Linien parallel Pb (Fig. 5) zieht und bestimmt für diese Strahlen die Reflexion an der inneren Netzhautfläche, so zeigt sich, dass der Bereich der Netzhautoberfläche, von dem keine regelmässig reflectirten Strahlen die Pupille des untersuchten Auges verlassen können, gerade so gross ist, wie bei enger Pupille und weiter Pupille unter dem Einfalle divergenter oder convergenter Strahlenbündel auf die Netzhaut. Der ringförmige Theil der Retina um die Vertiefung, von welcher wir den Reflex erhalten, ist aber viel breiter als bei enger Pupille und bei der Incidenz divergenter oder convergenter Strahlenbündel. Ich habe die betreffenden Constructionen hier nicht wiedergegeben, da sie bis auf das letztere Verhältnis von dem in der Tafel dargestellten Strahlenverlauf nicht verschieden sind.

Betrachten wir nun die Veränderungen, die an dem Macularreflex hervorgerufen werden, sobald das Licht nicht in der Richtung der optischen Axe ins Auge fällt:

Einfache Drehungen des Spiegels bei ruhiger Haltung des Kopfes des Beobachters und der Convexlinse bewirken keine Veränderung im Macularreflex, weil eben dabei das Zerstreuungsbild der Flamme auf dem Augenhintergrunde sehr bedeutende Excursionen macht, so dass sehr bald nicht mehr die ganze Macula in den Bereich der beleuchteten Netzhautpartie fällt.

Blickt man in der Art der Fig. 6 schief ins Auge hinein, so sieht man, besonders wenn die Pupille von Natur etwas weiter, aber nicht künstlich erweitert ist, öfters nur jenen Theil des Reflexringes als Sichel, welcher in Wirklichkeit an jener Seite liegt, von welcher man ins Auge hineinblickt. In dem verkehrten Bilde ist also seine Concavität gegen diese Seite gekehrt.

Wir können uns dieses Verhalten sehr wohl dadurch entstanden denken, dass, wie wir aus Fig. 6 ersehen, unter diesen Umständen die Intensität des beleuchteten Netzhautbezirkes von der Seite, von welcher man hineinblickt, gegen die entgegengesetzte hin abnimmt. Dies gilt sowohl vom Einfalle convergenter oder divergenter, als auch paralleler Strahlenbündel. (Fig. 8.) Dabei muss nicht nur wie in den bei erweiterter Pupille gezeichneten Fällen (Fig. 6 und Fig. 8) das Licht überhaupt nur durch eine Hälfte der Pupille ins Auge fallen. Es kann auch bei nicht erweiterter und völlig erleuchteter Pupille diese ungleichmässige Vertheilung des Lichtes in dem Zerstreuungsbilde der Flamme dann resultiren, wenn eben das

Licht von der Convexlinse auf das Auge so fällt, dass z. B. beim Lichteinfalle von der temporalen Seite her der gegen das gleichliegende Ende des Flammenbildes (F_2 in Fig. 6) verlaufende Strahlenkegel nur zum Theil die Netzhaut erreichen kann. Es wird dann beim Einblick von der temporalen Seite her eben nur diese Seite Licht genug erhalten, um den Reflex erscheinen zu lassen. Derselbe wird also die Form einer Sichel haben. Allerdings wird die Convexlinse nicht so seitlich vor der Pupille liegen, wie dies in Fig. 6 dargestellt ist. In der That ist dies auch bei nicht künstlich erweiterter Pupille gar nicht möglich.

Endlich wäre noch der Fall zu erörtern, dass bei ruhig gehaltenem Spiegel die Convexlinse vor dem untersuchten Auge verschoben wird (Fig. 7). Wenn man eine solche Verschiebung vornimmt, nachdem man sich so eingestellt hat, dass man den ganzen Macularreflex als Ring sieht, so entsteht aus dem Ringe eine Sichel, u. zw. liegt die Sichel im verkehrten Bilde mit der Convexität nach der Seite, nach welcher man die Linse verschoben hat, also im Auge selbst nach der entgegengesetzten Richtung. Es gelingt oft, diese Formveränderung des Macularreflexes durch eine sehr geringe Verschiebung der Linse hervorzurufen u. zw. ganz besonders bei erweiterter Pupille.

Diese Verschiebung ist so gering, dass dadurch keine wesentliche Aenderung im Strahleneinfalle hervorgerufen werden kann. Vielmehr bleibt immer die ganze Pupille vom Licht erfüllt. Dass selbst bei einer stärkeren Verschiebung der Linse die Intensität in dem beleuchteten Netzhautbezirke nicht in der Weise alterirt wird wie bei der gleichzeitigen Verschiebung des Spiegels und der Convexlinse, geht aus Fig. 7 hervor. Hier ist wohl auch ein Unterschied in den gegen gegen F_2 und F_3 verlaufenden Strahlenkegeln, doch lange nicht so bedeutend als in Fig. 6. Das Zerstreuungsbild der Flamme auf dem Augenhintergrunde hat bei der blossen Verschiebung der Linse seinen Ort sehr wenig geändert. Es liegt deshalb nahe, an die Verlaufsweise der regelmässig reflectirten Strahlen nach dem Austritte aus der Pupille vor dem Auge zu denken.

Befindet sich der Spiegel in einer Entfernung von 30 *cm* von der Convexlinse, so liegt das Bild des Spiegels 6 *cm* von der Linse entfernt. Nun bekommt man aber wie oben (Seite 11) erwähnt wurde, gerade dann das grösste Gesichtsfeld bei der Untersuchung im verkehrten Bilde, wenn die Linse um etwas mehr als um ihre Brennweite von der Pupillarebene entfernt ist. Es entsteht also ein fast oder ganz scharfes Bild des Spiegels und damit auch natürlich des Spiegelloches in der Gegend der Pupille. Verschiebt man nun bei ruhig gehaltenem Spiegel die Linse vor dem Auge, so bewegt sich auch dieses Bild des Spiegels in derselben Richtung, in welcher man die Linse bewegt. Bei der vollständig genauen Centrirung des Spiegels, der Linse und des untersuchten Auges

wird das Bild des Spiegelloches genau die Mitte der Pupille einnehmen, während bei einer Verschiebung der Linse gegen die Nasenseite des beobachteten Auges das Bild des Spiegelloches sich dem nasalen Pupillarrande näheren wird.

Es ist aber klar, dass die aus dem Auge herauskommenden Lichtstrahlen, welche nach ihrer Brechung durch die Convexlinse in das Loch des Spiegels und damit in das Auge des Beobachters gelangen sollen, durch das Bild des Spiegelloches innerhalb der Pupille des untersuchten Auges treten müssen. Deckt das Bild des Spiegelloches die Mitte der Pupille, so wird man mit dem Spiegelloche Strahlen auffangen, welche aus der Mitte der Pupille hervordringen. Bei einer Verschiebung der Linse gegen die Nasenseite des untersuchten Auges werden aber solche Strahlenbündel in das Spiegelloch eintreten, welche durch die nasale Hälfte der Pupille hervorkommen.

Ein Blick auf die Tafel zeigt aber, dass die Strahlen, welche durch die nasale Hälfte der Pupille aus dem Auge heraustreten, grösstentheils von dem temporalen Theile der Retinaloberfläche neben der Netzhautgrube kommen, die aus dem temporalen Theile der Pupille aber dringenden Strahlen von dem nasalen Theile der Netzhautanschwellung neben der Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche ihren Ursprung nehmen. Es ist also ganz natürlich, dass bei einer Verschiebung der Linse in einer bestimmten Richtung der Macularreflex im verkehrten Bilde als eine Sichel erscheint, welche ihre Convexität gegen die Richtung der Verschiebung der Linse kehrt oder dass der Macularreflex, wenn er auch ein Ring bleibt, wenigstens an der Seite, nach welcher man die Linse verschoben hat, breiter und lichtstärker wird.

Es erklärt dies auch die grosse Wandelbarkeit der Erscheinungen des Macularreflexes und dass man bei erweiterter Pupille und schiefem Einblicke wie in Fig. 6 manchmal gerade die entgegengesetzte Stellung der Sichel bekommt, wie sie bei enger Pupille gefunden wird, nämlich eine im Auge an der nasalen Seite der Macula liegende Sichel, wenn man von der temporalen Seite ins Auge hineinsieht. Bei erweiterter Pupille kann nämlich nicht so viel von den Strahlenkegeln, welche gegen einen Randtheil des Flammenbildes verlaufen, durch die Jris abgehalten werden. Das Flammenbild ist also dann in seinen einzelnen Theilen nicht mit so verschiedener Intensität beleuchtet als bei enger Pupille. Das Bild des Spiegelloches liegt aber bei dem schiefen Einblick (Fig. 6) so, dass es die Strahlen, welche von dem entgegengesetzten Rande der Macula kommen, auffangen und zum Spiegelloche selbst leiten kann.

Noch wäre das Bild zu erklären, welches in Fig. 33 abgebildet wurde und welches man in gewissen Fällen bei Verschiebungen der Linse sehen kann. In Fig. 34 verlässt der Strahlenkegel, der bei 4 reflectirt

wird, den nasalen Theil der Pupille. Bei einer etwas anderen Krümmung der inneren Netzhautoberfläche kann es wohl geschehen, dass von einem etwas breiteren Theile der Retina in dieser Gegend Lichstrahlen nahe dem nasalen Rande der Pupille aus dem Auge herauskommen können. Ebenso ist es denkbar, dass, wenn der Abfall der inneren Netzhautoberfläche in der Netzhautgrube sehr sanft ist, von 16, 17, 18 Strahlen durch den nasalen Theil der Pupille hervorkommen können, von 19 ist dies ohnehin der Fall. Wenn nun der temporalwärts von 19 liegende Theil der Retina an seiner inneren Oberfläche derart gewölbt ist, dass von dort nur wenige Strahlenbündel durch diesen ganz peripheren nasalen Theil der Pupille reflectirt werden, so bekommt man eben das in Fig. 33 dargestellte Bild der Reflexerscheinung, nämlich eine Sichel zwischen Papille und Fovea und eine etwa dreieckige glänzende Stelle schläfenwärts von der Fovea mit der Basis temporalwärts gekehrt.

Oben wurde bei der Beschreibung der ophthalmoskopischen Erscheinungen auch erwähnt, dass es Fälle gibt, bei welchen der Macularreflex auch beim völlig graden Einblick als Sichel zwischen Papille und Fovea erscheint. Es sind dies offenbar Augen, bei welchen die Prominenz des verdickten Netzhautwalles um die Netzhautgrube an der temporalen Seite so flach ist, dass daselbst kein deutlicher Reflex auftreten kann. Wir finden ja in den anatomischen Präparaten stets die Verdickung der Retina nasalwärts von der Fovea bedeutender als temporalwärts.

Warum ist aber der Macularreflex im aufrechten Bilde bei der Untersuchung mit dem Planspiegel oder schwachen Concavspiegel gar nicht oder nur andeutungsweise sichtbar?

Zunächst ist die Beleuchtung des Augengrundes im aufrechten Bilde mit dem Planspiegel und mit dem schwachen Concavspiegel jedenfalls geringer als bei der Untersuchung im verkehrten Bilde. Da ja nicht fast die ganze Pupille für die einzelnen Theile der Retina das leuchtende Object ist, so fehlt aus den zu den einzelnen Punkten der Retina gehenden Strahlenkegeln, wie sie durch die von den Rändern der Pupille gegen die betreffende Netzhautstelle gezogenen Linien begrenzt werden, ein central oder peripher gelegener Theil, so dass die Strahlen durch einen sichel- oder ringförmigen Theil der Pupille zu dem Punkte auf der Retina gelangen. Betrachten wir einen von einem Punkte der Retina reflectirten Strahlenkegel, so muss in demselben ebenfalls ein entsprechender Theil ausfallen.

Es handelt sich aber auch darum, ob alles Licht, welches nach der regelmässigen Reflexion an der inneren Oberfläche der Retina aus dem untersuchten Auge herauskommt, auch vom Spiegelloche aufgefangen wer-

den kann. In der Tafel sind jene Strahlen, welche aus der Pupille heraustreten, bis zu dem in der vorderen Brennebene des Auges liegenden Spiegel $S_1 S_2$ verfolgt. So lässt sich leicht ermitteln, welche Strahlen in das Spiegelloch $l_1 l_2$ gelangen.

Es stellt sich dabei heraus, dass der Beobachter von manchen Punkten der Retina, von denen er im verkehrten Bilde regelmässig reflectirtes Licht wahrnehmen kann, im aufrechten Bilde keinen Reflex bekommt, weil die von diesen Punkten regelmässig reflectirten Strahlen nicht das Spiegelloch erreichen. Dies gilt von den Punkten 6 und 19. Von den anderen Punkten der Netzhaut kommt allerdings nur ein Theil der aus der Pupille hervorkommenden Strahlenbündel in das Spiegelloch. Indessen ist hierin das Verhalten beim aufrechten Bilde ganz so wie beim verkehrten Bilde. Auch bei diesem gelangt ja nur ein Theil des regelmässig reflectirten Lichtes nach der Ueberkreuzung der Strahlen in der vorderen Brennebene der Linse in das Spiegelloch und damit ins Auge des Beobachters. Das, was den Strahlenverlauf beim aufrechten Bilde von jenem beim umgekehrten unterscheidet ist aber der Umstand, dass eben die Erleuchtung des Augengrundes im aufrechten Bilde beim Gebrauch des Plan- oder schwachen Concavspiegels eine schwächere ist.

Der Grund für das Fehlen des Macularreflexes im aufrechten Bilde liegt also in der That, wie die meisten Beobachter angenommen haben, in der zu schwachen Beleuchtung. Auch beim Gebrauch des Helmholtz'schen Spiegels, wo ja sogar die ganze Pupille stets das leuchtende Object für die Reflexion an den einzelnen Punkten der Netzhautoberfläche ist, kann nur die geringe Beleuchtungsintensität das Fehlen des Macularreflexes erklären.

Werfen wir aber im aufrechten Bilde entweder mit einem Concavspiegel von kurzer Brennweite (8 *cm*) oder mittels der auf Seite 41 angegebenen Vorrichtung, bei künstlich erweiterter Pupille parallele Strahlenbündel auf die Retina, dann können wir den Macularreflex ebenso wie bei der Untersuchung im verkehrten Bilde wahrnehmen — ja beim Einfall paralleler Strahlenbündel auf die Netzhaut im aufrechten Bilde erscheint er breiter und glänzender als bei der gewöhnlichen Untersuchung im verkehrten Bilde. Die Verhältnisse sind eben, wie oben erwähnt, dabei für die Entstehung eines breiten Reflexes sehr günstig.

Erweitert man die Pupille künstlich, und untersucht in der gewöhnlichen Weise mit einem Plan- oder schwachen Concavspiegel, so sieht man selbst dann keine Andeutung des Macularreflexes, wenn man ihn bei enger Pupille hatte sehen können. Der Grund dafür ist hauptsächlich in der grossen Menge diffus reflectirten Lichtes zu suchen. Wenn wir nämlich die rothen Linien in Fig. 34 auf ihre Lage zu den Einfallslothen ansehen, so stellt sich heraus, dass bei weiter Pupille im aufrechten Bilde

allerdings von einzelnen Punkten der inneren Netzhautoberfläche regelmässig reflectirtes Licht aus der Pupille austreten kann. So z. B. von den Punkten 7, 8, 10, 11, 14, 15, 17. Bei den meisten von diesen Punkten liegt aber das Einfallsloth so nahe der einen der rothen Linien, dass von dem reflectirten Strahlenkegel nur ein schmales Bündel sehr peripher durch die Pupille hervortreten kann. (Siehe 8, 10, 15, 17). Diese Strahlen werden aber nach ihrem Austritt aus der Pupille das Spiegelloch nicht mehr treffen können. Andererseits werden die breiten auffallenden Strahlenkegel wieder als solche breite Strahlenkegel reflectirt. Mit dem starken Concavspiegel kann man dagegen den Macularreflex auch bei Mydriasis sehen, wenn auch nicht so schön wie bei enger Pupille.

Es erscheint somit erwiesen, dass der helle Reflex um die Macula blos durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der inneren Oberfläche der Netzhaut, welche in der Maculagegend ein eigenthümliches Relief hat, entsteht. Der dunkle Fleck innerhalb des glänzenden Ringes verdankt ebenfalls der regelmässigen Reflexion des Lichtes an dem Clivus seinen Ursprung.

Für die dunklere Färbung der Maculagegend ohne scharfe Begrenzung, wie sie auch bei alten Leuten mitunter sichtbar ist, und bei manchen jungen Leuten ausser dem Reflexringe besonders bei erweiterter Pupille zu beobachten ist, könnte man wohl zunächst der Erklärung Schmidt-Rimplers beipflichten. Ich habe ebenfalls in zwei Fällen normale Augen, welche wegen Tumoren in der Umgebung des Auges entfernt wurden, sogleich nach der Enucleation im Aequator halbirt und konnte die Macula ebenso wie Schmidt-Rimpler als einen dunklen Fleck wahrnehmen. Derselbe lässt sich über der Unterlage verschieben, wird also nicht durch eine stärkere Pigmentirung der Chorioidea oder des Pigmentepithels an Stelle der Macula bewirkt. Hebt man die Netzhaut dann von der Chorioidea ab und breitet sie auf einem Objectträger in Glaskörperflüssigkeit aus, so wird man auf einer hellen Unterlage die Macula sogleich als goldgelben Fleck mit verwaschenen Rändern sehen. In der Mitte der Macula erscheint ein kleines farbloses Pünktchen, welches gewöhnlich als der Ausdruck der Fovea bezeichnet wurde.

In dem gelben Flecke kann man eine intensiver gefärbte centrale Partie von einem schwächer gefärbten Hofe unterscheiden, welch letzterer dann ganz allmälig an seinem Rande sich verliert. H. Müller *) gibt in einem Falle den Durchmesser dieser gelben Stelle in horizontaler Richtung mit 0·88, in verticaler mit 0·53 *mm* an, während eine schwach gelbe

---

*) H. Müller, anatomisch-physiolog. Untersuchungen über die Retina des Menschen und der Wirbelthiere. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie von Siebold und Müller, 1856; in Beckers Sammlung S. 52.

Färbung in der Länge von 2·1 *mm* und in der Höhe von 0·88 *mm* zu sehen war. In einem anderen Falle war die Ausdehnung der intensiven Färbung 1·5 *mm* in der horizontalen und 0·8 in der senkrechten Richtung, während sich die schwächere Färbung in einem noch weiteren Umkreise fand.

Es gibt aber sehr viele Augen, wo man diese diffuse dunklere Farbe der Macula mit dem Spiegel nicht beobachten kann. Da nun in jedem Auge sich eine gelbe Färbung der Netzhaut in der Maculagegend vorfindet, es aber viele Augen gibt, wo man eine solche dunklere Färbung mit verschwommener Begrenzung (abgesehen von dem dunklen, ziemlich scharf begrenzten Flecke im Centrum der Macula) bei der Augenspiegeluntersuchung nicht sehen kann, so ist der Schluss gerechtfertigt, dass wenigstens mit dem Ophthalmoskop betrachtet, diese gelbe Färbung der Retina die Farbe des Augengrundes nur sehr wenig beeinflussen kann.

In der That sind die Verhältnisse des Lichteinfalles bei der Betrachtung im diffusen Tageslichte ganz andere als bei der Augenspiegeluntersuchung. Wir sehen die Retina hier eigentlich im auffallenden Lichte, während sie mit dem Augenspiegel gleichsam im durchfallenden Lichte erscheint oder vielmehr nicht erscheint, denn sie ist fast völlig durchsichtig. Man darf weiter nicht vergessen, dass wir bei künstlichem Lichte zu ophthalmoskopiren pflegen, also mit einem Lichte, welches sehr viele gelbe Strahlen enthält. Es kann also die gelbe Farbe der Macula das Aussehen des Hintergrundes, vor dem sie liegt, nicht so verändern, als wenn wir bei Tageslicht die Retina ansehen.

Ich habe, um über diese Verhältnisse Klarheit zu gewinnen, ein kleines 4eckiges Stück gelbes Glas, das an den 4 Ecken auf ein Deckgläschen aufgeklebt war, in das schon mehrfach erwähnte künstliche Auge gebracht. Warf man das Licht einer Gasflamme in den Apparat, so gelang es nur mit Mühe an feinen dunklen Strichen die Grenzen des gelben Glases zu erkennen. Dort, wo dieses lag, erschien der gelblichrothe Hintergrund völlig in der gleichen Farbe wie an jenen Stellen, die vom Glase unbedeckt waren. Untersuchte man aber bei Tageslicht, dann hob sich das gelbe Glas als ein 4eckiger dunkler, aber nicht deutlich gelber Fleck von dem übrigen Hintergrund ab. Ein etwas dunkleres gelbes Glas war dagegen bereits bei Gaslicht als dunkler Fleck erkennbar.

Wenn man bei älteren Leuten, bei denen man keinen Macularreflex sehen kann, die Maculagegend bei künstlich erweiterter Pupille im verkehrten Bild bei Gas- oder Lampenlicht betrachtet, so sieht man bald eine diffuse dunkle Stelle, welche etwa die Grösse der Papille hat oder noch etwas grösser ist, bald auch gar keine andere Färbung im Bereiche der Macula.

Ich konnte mich nun bei nicht dunkel pigmentirten Augen davon überzeugen, dass, wenn man die Maculagegend ebenfalls bei erweiterter Pupille im Tageslicht untersucht, in jenen Augen, welche eine dunkle Stelle

in der Macula bei Gaslicht zeigen, dieser dunkle Fleck im Tageslicht dunkler und oft auch grösser erscheint. Ferner kann man einen solchen dunklen Fleck bei der Untersuchung mittels des Tageslichtes oft auch in jenen Fällen sehen, in welchen man bei Gaslicht keine andere Färbung in der Maculagegend wahrnehmen konnte.

Diese Differenzen glaube ich nun folgendermassen erklären zu können: Wenn man bei Gas- oder Lampenlicht untersucht, so wirft man Licht ins Auge, welches vorwiegend gelbe Strahlen enthält. Diese gelben Strahlen werden von der gelben Lackfarbe der Macula (ebenso wie vom gelben Glase) durchgelassen und es gelangt auf die tieferen Theile hinter der Macula fast ebenso viel Licht wie in der Umgebung der Macula.

Wird aber Tageslicht zur Beleuchtung des Augeninnern verwendet, so werden von dem Strahlen der verschiedensten Wellenlängen enthaltenden Tageslicht im Bereich der gelben Färbung alle Strahlen mit Ausnahme der gelben abgehalten. Diese Stelle muss somit dunkler erscheinen.

Ein weiterer Grund, u. zw. einer der sehr gewichtig dagegen spricht, dass die gelbe Farbe der Macula im Augenspiegelbilde eine dunklere Färbung der Retina in der Maculagegend hervorruft, liegt darin, dass die kleine centrale dunkle Stelle innerhalb der Macula doch noch dunkler erscheint als die dunkle Färbung der ganzen Macula, wenn diese überhaupt zu sehen ist. Diese centrale Partie ist aber gar nicht gelb gefärbt, sondern erscheint vielmehr aus anderen Gründen dunkel, wie wir im nächsten Abschnitte sehen werden.

Durch was wird aber die dunkle Färbung der ganzen Maculagegend, wie man sie doch mitunter mit dem Augenspiegel bei künstlicher Beleuchtung findet, bewirkt, wenn nicht durch die gelbe Farbe der Macula? Die Erklärung dafür ist die dunkle Stelle in der Gegend der Macula, die man nach dem Abziehen der Retina von der Chorioidea am frischen Auge beobachten kann.*) Diese durch stärkere Pigmentirung des Pigmentepithels hervorgerufene dunkle Färbung der Maculagegend, welche ganz allmälig in die Farbe des übrigen Augenhintergrundes übergeht, hat aber gar nichts mit dem dunklen Fleck innerhalb des Reflexringes zu thun, der gegen diesen ziemlich scharf begrenzt ist und willkürlich durch eine vergrösserte Menge des einfallenden Lichtes dann erzeugt werden kann, wenn er unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht wahrnehmbar ist. Die stärkere Pigmentirung des Pigmentepithels in der Gegend der Macula kann auch fehlen, nicht aber die gelbe Farbe der Macula, die sicher auch während des Lebens vorhanden ist. (Siehe Ewald über die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea und des Sehpurpurs.**)

*) W. Kühne Notiz über die Netzhautfarbe beleuchteter menschlicher Augen. Untersuchungen aus dem physiol. Institute in Heidelberg. III. Bd. 1880.

**) Untersuchungen aus dem Heidelberger physiologischen Institut II. Bd.

Wir haben uns bisher bei der Erklärung des Macularreflexes nur auf das eine der anatomischen Präparate bezogen. Es wurde nun constatirt, dass auch bei jenen Fällen, wo keine Faltung der Netzhaut eingetreten ist, der Durchmesser der Netzhautgrube ein verschiedener war. Solche Schwankungen in der Grösse des Macularreflexes beobachtet man aber auch mit dem Augenspiegel. Im Falle II betrug der Durchmesser der Netzhautgrube in horizontaler Richtung gar nur 1·1 *mm*. Der Schnitt war aber nicht vollkommen senkrecht zur inneren Netzhautoberfläche und selbst wenn er senkrecht gewesen wäre, so würde dies den mit dem Spiegel sichtbaren Erscheinungen nicht widersprechen. Es gibt ja, allerdings seltene Fälle, wo der Macularreflex deutlich kleiner ist als die Papille.

Da es nun sichergestellt ist, dass der Macularreflex durch eine bestimmte Form des Reliefs der inneren Netzhautoberfläche, wie sie durch die anatomische Untersuchung nachgewiesen ist, erzeugt wird, so haben wir auch die volle Berechtigung aus der Grösse des Macularreflexes auf die Anatomie der Netzhaut in der Gegend der Macula einen Rückschluss zu machen. Von dem Punkte an, wo die Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche beginnt, verlässt kein regelmässig reflectirtes Licht die Pupille. Dieser Punkt bezeichnet die Grenze des mit dem Augenspiegel sichtbaren dunklen Fleckes innerhalb des Reflexringes. Je grösser dieser Fleck, desto grösser muss auch die Fovea sein, gemessen von dem Punkte, wo die Einsenkung als sogenannter Clivus beginnt.

Es liesse sich schon hieraus mit voller Sicherheit schliessen, dass jene anatomischen Präparate, bei denen die Fovea so klein ist, wie wir jenen dunklen Fleck mit dem Augenspiegel niemals sehen, nicht die natürlichen Verhältnisse wiedergeben, sondern von durch Schrumpfung veränderten Netzhäuten herrühren müssen (Fall IV.). Dies wird auch dadurch bekräftigt, dass in diesen Fällen die Netzhaut gefaltet und abgehoben war und dass wir besonders in der äusseren Faserschichte deutliche Zeichen der Schrumpfung finden.

Jedenfalls kann, nach dem was man mit dem Augenspiegel sieht, der horizontale Durchmesser der Fovea in der soeben angegebenen Weise gemessen, nur selten kleiner als der Durchmesser der Papille sein, er ist im Gegentheil meist erheblich grösser. Aus der runden oder ovalen Form des dunklen Fleckes innerhalb des Macularreflexes kann man auch die runde oder ovale Form der Fovea erkennen.

So hat sich Loring's Ansicht von der Entstehung des Macularreflexes insofern bewahrheitet, als die Beschaffenheit der inneren Netzhautoberfläche den Grund für den Macularreflex abgibt. Allerdings hat sich Loring das Relief der inneren Retinaloberfläche anders vorgestellt. Die Vertiefung, die er in der Ausdehnung des dunklen Fleckes annehmen zu müssen glaubte, besteht in der That in dieser Grösse. Er glaubte aber, dass der

Reflex blos an der convexen Fläche entstehe, durch welche die Vertiefung in die Wölbung der übrigen Netzhautoberfläche übergeht. Das Vorkommen eines Walles um die Grube weist er zurück. Dennoch existirt dieser Wall wirklich und er ist es gerade, welcher zur Erzeugung des Macularreflexes am meisten beiträgt.

Die vorstehenden Untersuchungen haben also Folgendes ergeben:

Der Reflex in Form eines glänzenden Ringes um die Macula, wie man ihn im verkehrten Bilde bei jugendlichen Individuen sehen kann, entsteht durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der inneren Netzhautoberfläche u. zw. dadurch, dass im Bereiche der Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche in der Fovea, welche viel grösser ist als man bisher angenommen hat, das regelmässig reflectirte Licht die Pupille des untersuchten Auges nicht verlassen kann, während es von einem Theile der nach vorn convexen Oberfläche der in der Umgebung der Fovea verdickten Netzhaut in grosser Menge so zurückgeworfen wird, dass es aus der Pupille austreten und vom Beobachter wahrgenommen werden kann. Der Macularreflex fehlt gewöhnlich bei der Untersuchung im aufrechten Bilde wegen der zu geringen Lichtmenge, mit welcher bei dieser Methode der Augengrund erleuchtet wird.

B. Erscheinungen am Grunde der Fovea.

a) Der dunkle Fleck in der Fovea.

Literatur.

Streng genommen gehört der dunkle Fleck, den man mit dem Augenspiegel in der Gegend der Fovea wahrnimmt, nicht in den Bereich unserer Auseinandersetzungen, die nur die Lichtreflexe der Retina zum Gegenstande haben sollten. Doch bildet er einen so wesentlichen Bestandtheil des ophthalmoskopischen Aussehens der Retina in der Maculagegend, dass es wohl gerechtfertigt erscheint, ihn hier auch zu behandeln. Ausserdem hängt seine Entstehung mit dem anatomischen Bau der Retina in der Maculagegend zusammen, der im Vorigen besprochen wurde.

Schon Liebreich (6) spricht von einem rostbraunen Hof um das Foramen centrale bei einem dunkel-braunrothen Hintergrunde, während

diese Stelle bei einem hellrothen Grunde so roth erscheint, »dass man sie mit einem Extravasat verwechseln könnte«. Der Durchmesser dieses Hofes wechselt vom kaum merkbaren bis zu einem Drittel der ganzen Macula lutea. Liebreich bezieht diesen Fleck auf die gelbe Färbung der Macula und schliesst daraus, dass man die gelbe Färbung der Netzhaut mit dem Augenspiegel wohl nicht in der ganzen Ausdehnung sieht, in welcher sie wirklich vorhanden ist.

Schweigger (9) hat für den dunklen Fleck eine andere Erklärung. Nach ihm erscheint das Centrum der Macula deshalb dunkler, weil die Netzhaut daselbst am dünnsten ist, somit die Chorioidea durchscheinen lässt.

Mauthner (11) erwähnt die dunkle Stelle auch und bezeichnet sie als »eine runde oder dreieckige dunkel pigmentirte Partie«, wobei er sich auf Jäger's Handatlas Taf V, Fig. 29 bezieht. Dort beschreibt Jäger den Reflex als ein »braunrothes Dreieck, welches gegen die Mitte zu (gegen den daselbst liegenden hellen Fleck) einen dunkleren, peripherisch einen lichteren braun-rothen Farbenton aufweist. Die Begrenzung dieses Dreieckes ist eine ziemlich bestimmte. Seine Körnung ist eine ähnliche, nur dichtere als die des übrigen Augenhintergrundes. Die beiden kürzeren Seitenränder bilden mit einander einen an der Spitze abgerundeten rechten Winkel, der nach aussen unten gerichtet ist; der längere Seitenrand, die Hypothenuse des Dreieckes, hat eine Länge von $^2/_5$ eines Sehnerven-Durchmessers und ist in der Richtung von oben-aussen nach unten-innen am Augengrunde gestellt.« Die Untersuchung wurde dabei im aufrechten Bilde und mit dem lichtschwachen (Helmholtz'schen) Spiegel vorgenommen. Wurde dasselbe Auge im verkehrten Bilde betrachtet, so war das dunkle Dreieck kaum erkennbar. Mauthner bemerkt, dass die Erklärung Liebreich's nicht entspreche, nachdem ja dann der ganze Bereich des gelben Fleckes dunkel erscheinen müsste. Aber auch Schweigger's Erklärung stimmt er nicht bei, denn es sei die Netzhaut im ganzen Bereiche des gelben Fleckes dünn genug, um die Farbe der Chorioidea nicht abzuschwächen.

Ed. v. Jaeger (13) bildet den dunklen Fleck ausser in der schon citirten Abbildung noch mehrmals in verschiedenen Grössen ab. (Auf Tafel IV, Fig. 26 mit sehr verschwommenen Grenzen, auf Tafel VIII, Fig. 43, 44. Tafel XXVI, Fig. 116.)

Delorme (21) erwähnt, dass, wenn sich im Tode die Retina trübt, die rothe Farbe der Fovea dann noch mehr hervortrete durch Contrast gegen die Umgebung.

Auch Gayat (29) beschreibt diese Erscheinung an der Fovea und bemerkt, dass der rothe Fleck ganz der gleiche sei, wie er bei der Embolie der Centralarterie zu sehen ist.

Im Gegensatze zu den anderen Beobachtern glaubt Brecht (30) den dunklen Fleck dadurch bedingt, dass das Licht an den steilen Wänden der Fovea centralis nicht gegen die Pupille reflectirt wird.

Schmidt-Rimpler (31) ist dagegen auch dieser Erscheinung, zunächst durch anatomische Untersuchung, näher getreten. Er konnte innerhalb des grösseren dunklen Fleckes, welcher in frischen Augen die Macula lutea bezeichnet, bei concentrirter Beleuchtung noch eine centrale dunklere Partie bemerken. Man kann dann sehen, dass diese dunkle Stelle, sobald sich die Netzhaut bei längerem Liegen trübt, stärker hervortritt, so dass man ganz das Bild wie bei Embolie der Centralarterie bekommt. Während diese Stelle sich dann noch weiter verkleinert und punktförmig wird, zeigt dann die peripherische Zone eine gelbliche Färbung. Auch sah Schmidt-Rimpler diese dunkle Partie manchmal in Form eines spitzen Winkels oder eines quer liegenden römischen V. Hebt man die Netzhaut von ihrer Unterlage bei einem frischen Auge ab, so erscheint die Fovea bei auffallendem Lichte als ein dunkelbrauner quer ovaler Fleck im Centrum des jetzt wirklich gelb erscheinenden gelben Fleckes. »Die Seitenwände der Fovea erscheinen bei durchfallendem Lichte dort, wo sie in den Boden der Grube übergehen, dunkelgrau, bei auffallendem Lichte weiss; der Boden selbst ist dunkelbraunroth«. Aus diesem Befunde würde sich also auch der ophthalmoskopische in der Fovea sichtbare dunkle Fleck erklären.

Kühne (43) fand in dem Auge eines 41jährigen Phthisikers, in welchem der Glaskörper nach der Eröffnung des Auges im Aequator fast vollständig ausschlüpfte und die Netzhaut faltenlos der Unterlage anlag, die Fovea centralis als ein kleines dunkelbraunes Pünktchen von 0·2 *mm* Durchmesser. Das Auge war recht wenig pigmentirt, mit graugrüner fleckiger Iris. Als die Netzhaut abgehoben wurde, verschwand das dunkle Pünktchen in dem Augenblicke, da sich die Gegend der Macula vom Pigmentepithel trennte und es wurde eine kleine farblose Delle in der intensiv gelben Umgebung daraus. Kühne erwähnt, dass das Aussehen der Fovea vollständig mit den Abbildungen des dunklen Fleckes stimmt, welche das Bild, wie man es zuweilen an der Stelle der Fovea mit dem Augenspiegel sieht, darstellen. Den Grund, warum man den dunklen Fleck nicht immer sieht, sucht Kühne in dem Umstande, dass eben gewöhnlich der Glaskörper nicht ausschlüpft und dann ein Hindernis für die Wahrnehmbarkeit der Erscheinung abgibt. Die Fovea sah viel dunkler aus als die von der Retina entblösste Chorioidea.

Da nun, sagt Kühne, die Netzhaut nicht einen völlig glasartigen Ueberzug darstellt, »sondern einen dünnen weisslichen oder weisspurpurnen Schleier, so ist darin die Fovea mit ihren ausschliesslich in Betracht kommenden Zapfen die durchsichtigste Stelle.« »Es handelt sich bei ihrer Sichtbarkeit in situ auch augenscheinlich nur um den eigentlichen Grund

der Grube; denn das dunkle Pünktchen ist erheblich kleiner als die nicht gelbe Stelle, welche man nach dem Aufheben und auf weisser Unterlage für die Fovea nimmt.« Da die wallartige erhabene Umgebung der Macula der dickste Theil der Netzhaut ist, so kann der dunkle Grund hinter der Fovea durch Contrast dunkler aussehen als die ganze Fläche im entblössten Zustande, nachdem man die Retina von der Chorioidea abgezogen hat. Kühne glaubte aber, dass noch andere Umstände in Betracht kommen können, nämlich das wandernde Pigment zwischen den Zapfen der Fovea, so dass die Fovea bald das Licht absorbirt, bald zur Uvea und Sclera durchlässt.

Später (44) untersuchte Kühne ein sehr schwach pigmentirtes Auge mit wasserblauer Iris auf diese Verhältnisse. »Die Gegend des gelben Fleckes war durch die stärker braune Pigmentirung bezeichnet, worin die Fovea als ein noch dunkleres intensiv rothbraunes Pünktchen auffiel.« Hob man nun die Retina bis zum Papillenansatz von der Unterlage empor, so war die Macula lutea mit gelber Farbe sichtbar und die Fovea »je nachdem Licht durchfallen konnte oder mittels der dunklen Hohlschale des Auges abgehalten wurde, dunkel oder hell. In dem Augenhintergrunde, von dem die Retina entfernt worden war, konnte man die dem gelben Flecke entsprechende dunklere Pigmentirung erkennen, aber darin kein der Fovea entsprechendes, noch dunkler gefärbtes Pünktchen.« Nach diesen Beobachtungen spricht sich Kühne dahin aus, dass die dunkle Färbung der Fovea centralis nur durch die grösste Durchsichtigkeit dieser Netzhautstelle bedingt sei. Auch in einer späteren Mittheilung Kühne's (45) heisst es: die Fovea ist schon im Natronlichte in situ zu erkennen. »Der Augengrund ist nach der Entfernung der Netzhaut sehr dunkel, am dunkelsten in der Gegend der Macula, wo der Ort der Fovea durch Pigmentirung jedoch nicht weiter ausgezeichnet ist.«

Kühne (43) hatte früher angegeben, dass Horner (34) in der Fovea centralis in situ eine kirschrothe, allmälig schwindende Färbung gesehen habe. Durch die erste der oben angeführten Beobachtungen fand dies Kühne bestätigt. Es scheint hier ein Missverständnis obzuwalten. Horner hatte nämlich in einem Auge, das durch lange Zeit vorher gegen Licht geschützt war, unmittelbar nach der Enucleation ein maximales Roth in der Gegend der Macula von brillanter Farbe gefunden. Er sagt: »in der Gegend der Macula« und bemerkt ausdrücklich, dass das Roth allmälig von der Peripherie gegen die Fovea hin abnehme. »Die Fovea war anfangs nicht zu sehen. Erst später wurde sie als ein graues Pünktchen erkennbar.« Horner wirft nach diesem Befunde die Frage auf, ob nicht die Maculagegend ein Sehroth von besonderer Vergänglichkeit enthalte, welches vielleicht schon in der Agonie zerstört werde. Freilich hat Horner, wie er selbst bemerkt, das Roth nicht in der blossgelegten Netzhaut constatirt.

Ophthalmoskopische Erscheinung und Erklärung derselben.

Der dunkel-braunrothe Fleck, von dem hier die Rede ist und welcher der Fovea entsprechen soll, ist durchaus nicht in jedem Auge zu sehen. Im Gegentheile ist die Zahl der Augen, in welchen man ihn deutlich wahrnimmt, eine ziemlich kleine. Er nimmt etwa die Mitte der Maculagegend ein und erschien mir stets rund- oder queroval. Nie konnte ich eine annähernd dreieckige Stelle finden, wie sie Jaeger beschreibt und abbildet. Die Grösse des Fleckes ist gewöhnlich ungefähr $^1/_6$—$^1/_5$ des Papillendurchmessers, manchmal aber auch etwas kleiner oder grösser. Die Grenzen sind nicht scharf. Doch immerhin genügend deutlich, um ziemlich sicher die Grösse des Fleckes im Vergleiche zur Papille zu bestimmen.

Man kann den Fleck sowohl im aufrechten als im verkehrten Bilde sehen, doch ist er bei der letzteren Methode auffallender. Man findet ihn sowohl in Augen blonder als auch dunkelhaariger Individuen, ja bei ersteren ist er oft auffallender und kann besonders da den Eindruck eines Extravasates machen, da er in solchen Augen eine viel heller rothe Farbe hat.

Innerhalb dieses dunklen Fleckes sieht man oft die Chagrinirung des Augenhintergrundes mit einer solchen Deutlichkeit, wie an keiner anderen Stelle. Auch ist nicht selten daselbst diese Chagrinirung auffallend grob, so dass deutlich hellere, röthliche und gelb-röthliche Fleckchen mit dunkelbraunen oder schwarzen Fleckchen abwechseln.

Dieser Fleck würde also in Wirklichkeit einen Durchmesser von etwa 0·25 = 0·3 *mm* haben und also allerdings etwa der Grösse entsprechen, welche gewöhnlich für die Fovea angegeben wurde.

Bezüglich des anatomischen Aussehens dieser Stelle weichen die Angaben Schmidt-Rimpler's sehr wesentlich von jener Kühne's ab. Während nach Schmidt-Rimpler die Fovea an der abgelösten Netzhaut im durchfallenden Lichte an den Seitenwänden hell goldgelb, an der tiefsten Stelle derselben, dort, wo sie in den Boden der Grube übergehen, dunkelgrau und ihr Boden selbst dunkel-braunroth aussieht, beschreibt Kühne die Fovea an der abgelösten Netzhaut als farblos und nur in situ als einen dunkel-rothbraunen Punkt. Er bemerkt ferner ausdrücklich, dass das dunkle Pünktchen erheblich kleiner sei als die nicht gelbe Stelle, die man nach dem Aufheben der Retina von ihrer Unterlage wahrnimmt, was ihn eben veranlasst, die Sichtbarkeit der Fovea in situ blos auf den eigentlichen Grund der Grube zu beziehen.

Ich konnte mich auch an zwei völlig frischen normalen Netzhäuten, die unmittelbar nach der Enucleation zuerst auf der Chorioidea und dann auf einem Objectträger im auffallenden und durchfallenden Lichte untersucht wurden, von dem Verhalten, wie es Kühne angibt, überzeugen.

Nach den Ergebnissen der vorstehend mitgetheilten anatomischen Untersuchungen müsste man allerdings die Erklärung der Entstehung des braunen Pünktchens in etwas modificiren.

Kühne lässt dasselbe dadurch zustande kommen, dass die Netzhaut an dieser Stelle am dünnsten und folglich am durchsichtigten ist. Dabei soll der Contrast gegen die in der Umgebung der Fovea sehr dicke Netzhaut bewirken, dass der dunkle Fleck selbst dunkler aussieht als die ganze Fläche, wenn man die Retina abgehoben hat.

Nun ist, wie oben auseinandergesetzt wurde, die Fovea viel grösser als man bisher angenommen hat und die Verdünnung der Netzhaut gegen die dünnste Stelle derselben erfolgt nur sehr allmälig. Der horizontale Durchmesser der Fovea, gemessen von dem Punkte, an dem die Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche beginnt, übertrifft gewöhnlich den Durchmesser der Papille. Der Winkel, den der Clivus mit der äusseren Netzhautoberfläche macht, beträgt nur etwa 10 — 12°. Man kann nun unmöglich annehmen, dass bei dieser sehr allmälig abnehmenden Dicke der Netzhaut, die dünnste Stelle derselben eben wegen ihrer grösseren Durchsichtigkeit als ein, wenn auch nicht scharfbegrenzter, aber doch in ihrer Grösse deutlich bestimmbarer dunkler Fleck erscheint. Unter den vorliegenden Umständen könnte wohl die dünnste Stelle der Retina am dunkelsten aussehen, von da an müsste sich aber die dunkle Farbe so gradatim verlieren, dass es unmöglich wäre, die dunkle Stelle einigermassen genau zu begrenzen.

Blicken wir auf die Dickenverhältnisse der einzelnen Schichten der Retina in den verschiedenen Partien des Bereiches der Macula zurück, so werden wir leicht die Erklärung für das Auftreten des dunklen Fleckes gerade in dieser Grösse und doch ziemlich bestimmten Begrenzung finden. Die Zapfenfaserschichte (äussere Faserschicht Henle's) nimmt gegen die Mitte der Fovea sehr stark an Dicke zu, dann aber wieder u. zw. sehr rasch ab. Die dickste Stelle der Faserschichte lag im Falle I 0·4—0·5 *mm*, im Falle V 0·33 *mm* von der Mitte der Fovea. Im Bereiche von 0·21 *mm* fehlte im Falle I auch die Zapfenfaserschichte. Auch im Falle V war an einer centralen Stelle keine Zapfenfaserschichte mehr zu finden. Der Durchmesser dieser Stelle war aber hier blos 0·15 *mm*. Die dickste Partie der äusseren Faserschicht mass im Falle I bis 42 μ, im Falle V sogar bis 50 μ.

Es ist gewiss nicht gewagt, anzunehmen, dass es diese dicke Schichte von dicht bei einander liegenden Fasern ist, welche durch ihre Dichtheit und dadurch bedingte stärkere diffuse Reflexion des Lichtes verhindert, dass man die Farbe des hinter der Retina liegenden Pigmentepithels und der Chorioidea vollständig rein erkennen kann. An jenen Stellen der Maculagegend, wo diese äussere Faserschichte noch dünn ist, ist die

Netzhaut im Ganzen am dicksten. Dort, wo die Netzhaut durch die Einsenkung ihrer inneren Oberfläche nach der Mitte der Fovea zu wieder an Dicke abnimmt, hat schon die äussere Faserschichte erheblich an Dicke gewonnen (Siehe Fig. 31) und nimmt noch weiter gegen die Mitte der Fovea an Dicke zu. Die Ausdehnung jener Partie der Netzhaut in der Mitte der Fovea, in welcher man keine äussere Faserschicht mehr wahrnehmen kann, stimmt sehr gut mit der Grösse des dunklen Fleckes überein, besonders, wenn wir uns gegenwärtig halten, dass die Grenzen desselben nicht vollkommen scharf sind. Dass der dunkle Fleck aber doch ziemlich gut begrenzt werden kann, versteht man sehr wohl, wenn man bedenkt, dass die Distanz von der dicksten Stelle der äusseren Faserschicht bis zu jenem Punkte, wo man sie überhaupt nicht mehr finden kann, eine sehr kleine ist. Dieselbe beträgt im Falle I 0·3—0·4 *mm*, im Falle V aber gar nur 0·25 *mm*. Der Abfall der inneren Oberfläche der Netzhaut am Clivus bis zum Fundus foveae vertheilt sich aber im Falle I auf eine Strecke von 0·65 *mm*, im Falle V aber auf eine Strecke von 0·825 *mm*.

Dass die ungefärbte Stelle, wie es Kühne angibt, grösser ist als der dunkle Punkt, den man an der in situ befindlichen Netzhaut sieht, erklärt sich aus einem Befunde, wie ihn Fall I darbietet, sehr gut. Die gelbe Farbe der Macula ist ja ein diffuser Farbstoff, welcher in allen Schichten der Retina mit Ausnahme der Stäbchenzapfenschicht und der Schichte der äusseren Körner — somit in der sogenannten Gehirnschicht enthalten ist. Er wird also dort nicht mehr sichtbar sein, wo die Gehirnschicht aufhört. Im Falle I ist dies schon bei einem Abstande von 0·38 — 0·43 vom Centrum der Fovea der Fall. Im Falle V dagegen verschwindet die Gehirnschicht fast genau in derselben Gegend wie die Zapfenfaserschicht. Während also im Falle I die farblose Stelle erheblich grösser gewesen sein dürfte als der dunkel-braunrothe Punkt, so kann man voraussetzen, dass im Falle V beide dieselbe Grösse gehabt haben. Es zeigen sich also hier ebenso wie in vielen anderen Punkten ganz bedeutende individuelle Verschiedenheiten im Bau und dem sonstigen anatomischen Verhalten der Retina in der Maculagegend.

Jener dunkelrothe Fleck, den man bei Embolie der Centralarterie und bei Netzhautabhebung in der Gegend der Macula sieht, ebenso wie der dunkle Fleck, welchen man am Leichenauge wahrnehmen kann, verdankt ebenfalls den soeben besprochenen Verhältnissen seine Entstehung. Auch hier kann es nicht auf die geringe Dicke der Netzhaut in dieser Gegend allein ankommen. Der dunkle Fleck erscheint ja in diesen Fällen noch schärfer begrenzt als jener im normalen Auge. Die Netzhaut trübt sich eben bis an jene Stelle, wo nur mehr die Zapfenkörnerschicht und die Zapfenschicht vorhanden ist. Die Trübung der Netzhaut

erfolgt aber nicht gerade dort am stärksten, wo sie am dicksten ist und nimmt dann allmälig gegen die Mitte der Fovea hin ab, sondern sie ist infolge der bedeutenden Dicke der Zapfenfaserschicht noch central von der dicksten Stelle der Netzhaut sehr intensiv und verliert sich mit dem Aufhören der Zapfenfaserschicht. Die ziemlich bedeutenden Verschiedenheiten in der Grösse des rothen Fleckes bei Embolie der Centralarterie können sehr wohl dadurch erklärt werden, dass der Punkt, wo die Zapfenfaserschichte verschwindet, in verschiedenen Augen in wechselnder Entfernung von der Mitte der Fovea liegt.

Ich halte es somit für erwiesen, dass der dunkel-braunrothe Fleck in der Mitte der Macula nicht durch die Verdünnung der Netzhaut an dieser Stelle allein, sondern dadurch entsteht, dass die äussere Faserschicht Henle's unweit vom Rande jener dunklen Stelle ihre grösste Dicke erreicht und dann rasch abnimmt, so dass in dieser mittleren Partie der Fovea die leichte Verschleierung des Augenhintergrundes die in der Umgebung durch die compacte Fasermasse der äusseren Faserschicht hervorgerufen wird, fehlt.

---

b) Der Fovealreflex.

Literatur.

Der Reflex in der Fovea centralis wird zuerst von Coccius (3) erwähnt. Er gibt einige Winke, wie man die Gegend der Fovea am besten zu Gesicht bekommt, wobei ein Planspiegel empfohlen wird. Es heisst dann: »Der Reflex stellt sich meist als ein Halbmond dar, erscheint aber nicht in allen Augen gleich. Bei manchen Personen nämlich reflectirt nur der Rand, während bei Anderen auch der Boden mit reflectirt und der ganze Reflex einem kleinen Stern gleicht. In einzelnen Augen bot sich mir das Bild einer kleinen rüsselähnlichen Erhebung dar.« »Der Reflex der Netzhautgrube kann bei stark erweiterter Pupille und gehöriger Beleuchtung selbst zum Verschwinden gebracht werden.«

Nach Liebreich (6) zeigt sich der Fovealreflex bald als ein helles Pünktchen, bald als ein Kreis, bald als ein Häkchen in verschiedenen Stellungen. Der Reflex kann so intensiv sein, dass von ihm ein förmliches Lichtbüschel auszugehen scheint.

Mauthner (11) citirt zunächst die Beschreibungen von Coccius und Liebreich, wobei er bemerkt, dass die Beobachtung dieser Erscheinungen »sehr schwierig sein muss, denn es kann sich nicht jeder, sie gesehen zu haben, rühmen.« Dann betont er, wie schon oben bemerkt, dass man den grossen ringförmigen Reflex um die Macula im aufrechten Bilde nicht sehen kann und sagt: »Man sieht etwa $2^1/_2$ Papillendurchmesser vom Centrum der Papille entfernt und in der Regel etwas tiefer stehend einen hellen, weisslichen punktförmigen Fleck, umgeben von einer runden oder dreieckigen, dunkelpigmentirten Partie.« Auch wo man im umgekehrten Bilde nicht den grossen Ring um die Macula sieht, findet man doch häufig im aufrechten Bilde den weissen Punkt an Stelle der Fovea centralis. »Dieser Punkt unterscheidet sich aber wesentlich von dem von Coccius und Liebreich beschriebenen Reflexe. Er ist nämlich durchaus nicht eine Reflexerscheinung, sondern bei jeder Haltung und Stellung des Spiegels an dem gleichem Orte sichtbar.« Und weiter heisst es: »Das Erscheinen der Fovea centralis in Form eines weissen oder weissgelblichen Fleckchens, welches sicher keine Reflexerscheinung ist, ist ebenfalls nicht aufgehellt.« Dabei bezieht sich Mauthner auf die in Jaegers Handatlas gegebene Abbildung (Taf. V, Fig. 29).

Ed. v. Jaeger (13) gibt zu dieser Figur die folgende Beschreibung: »Die Macula lutea hat in ihrem Centrum einen kleinen kreisrunden Fleck von dem Durchmesser eines Venenhauptstammes, welcher Fleck von weissgelblicher Farbe und so stark erleuchtet ist, dass er Strahlen nach allen Richtungen gleich einem leuchtenden Punkte auszusenden scheint. Dieser helle Fleck ist scharf wie durch eine schwarze Linie begrenzt. In demselben befindet sich eine kleine schwarze, scharf begrenzte keilförmige Stelle, welche ihre Basis am oberen-äusseren Rande des hellen Fleckes hat und mit ihrer Spitze in schräger Richtung nach unten-innen bis zum Centrum des hellen Fleckes reicht.« Dabei wird ausdrücklich bemerkt, dass die Untersuchung im aufrechten Bilde und mit dem lichtschwachen Spiegel vorgenommen wurde. Der Fovealreflex findet sich aber blos als heller Punkt auch noch in mehreren anderen Figuren des Jaeger'schen Atlas dargestellt. (Tafel IV, Fig. 26, Tafel VIII, Fig. 43, 44, Tafel XXVI, Fig. 116, ebenso in analogen Figuren des grossen Jaeger'schen Atlas.) Auf der Wiener II. Augenklinik findet sich ein Exemplar der Tafel I des grossen Jaeger'schen Atlas vor, in welchem Jaeger mit eigener Hand den Fovealreflex als eine kleine Sichel eingetragen hat. Liebreich (7) bildet den Fovealreflex als einen hellen Punkt ab (Tafel II, Fig. 1, 2).

Loring (18) bezieht den halbringförmigen beweglichen Reflex auf den Rand der Fovea centralis. Die Verschiedenheiten, die man an diesem Reflex beobachten kann, sollen sich durch individuelle Verschiedenheiten erklären.

Brecht (30) fasst den hellen Punkt, den man in der Fovea sieht, als das kleine Flammenbildchen auf, welches von der Vertiefung der Fovea entworfen werden soll. Dieses kleine Flammenbildchen war auch bei seinen Versuchen mit dem Phantom sichtbar.

Schmidt-Rimpler (31) erklärt den Fovealreflex, den er als hellen weissen lichten Punkt beschreibt, durch eine Reflexion des Lichtes an der Seitenwand oder vielleicht auch an dem Boden der Fovea. Doch glaubt er nicht, dass der Letztere dabei eine wesentliche Rolle spielt, da er zu dunkel pigmentirt ist. So scheint es Schmidt-Rimpler wahrscheinlicher, dass der Reflex an der Seitenwand der Fovea entsteht u. zw. an dem bei der anatomischen Untersuchung weisslich erscheinenden Uebergangstheile der Seitenwand auf den Boden. »Es würde dies auch erklären, dass man bisweilen einen ganz kleinen Lichtkreis mit dunklem Centrum, welches dann dem Boden der Fovea entsprechen müsste — im Augenspiegelbilde sieht.«

Schweigger (9, 39) sagt, dass die Fovea als kleine rothe Scheibe, mit einem kleinen »weissen, runden oder hakenförmig gekrümmten Punkte« in der Mitte erscheint.« Der Letztere soll ein Lichtreflex sein, »indem das Centrum der Fovea mehr als ihre schief abgedachten Wandungen imstande ist, Licht in der Richtung der Sehaxe zu spiegeln.« Nach Vossius (54) soll der Reflex, der im aufrechten Bilde meist als ein hufeisenförmiger Lichtreflex erscheint, der mit den Drehungen des Spiegels wandert und die Concavität nach verschiedenen Richtungen kehrt, »durch die geringe Aushöhlung der Netzhaut an der Stelle der Fovea centralis bedingt sein.

Die von Gunn (55) gegebene Erklärung für die Reflexstreifen neben den Netzhautgefässen wird von ihm auch auf den Fovealreflex angewendet. Gunn beschreibt übrigens (57) noch einen eigenthümlichen Reflex in der Fovea, den er manchmal bei Myopie gesehen hat. Es ist eine kleine fächerförmige beleuchtete Stelle mit der Spitze in der Fovea und sich nach der entgegengesetzten Seite hin erstreckend, als von welcher man hereinleuchtet. Er vergleicht den Reflex mit einer »bulls eye lantern«, die in den Nebel hinausleuchtet. In den meisten Fällen war die Sehschärfe unvollkommen. Gunn meint, dass diese Art des Reflexes durch eine besondere Form und Tiefe der Fovea oder durch eine localisirte Abhebung der Membrana hyaloidea mit Ergiessung einer trüben Flüssigkeit zwischen diese und die Retina bedingt sein möge. Immer war in diesen Fällen die Sehschärfe unvollkommen, ohne dass dafür ein Grund gefunden werden konnte.

Parent (37) sagt, dass der Reflex in der Fovea als ein weisser Punkt erscheint, wenn das Licht gerade hineingeworfen wird. Bei der geringsten Neigung des Spiegels ändert der Reflex seine Gestalt. Es sei unmöglich, die verschiedenen Erscheinungsweisen des Reflexes in verschiedenen Fällen

zu beschreiben. Der Reflex soll an dem concaven Grunde der Fovea zu Stande kommen.

Eigene ophthalmoskopische Beobachtungen.

Ganz analog den Beobachtungen bei den übrigen Netzhautreflexen müssen wir auch hier die Erscheinungen bei den verschiedenen Methoden und Spiegeln unterscheiden. Im verkehrten Bilde ist der Fovealreflex seiner Kleinheit wegen nur schwer wahrnehmbar, meist nur dann, wenn man zur Erzeugung des verkehrten Bildes eine schwache Linse nimmt und so eine starke Vergrösserung erhält. Er erscheint dabei gewöhnlich als ein kleiner heller glänzender Punkt in der Mitte des dunklen Fleckes, wenn ein solcher wahrnehmbar ist. Man bekommt also das Bild, wie es in Liebreichs Atlas Tafel II. Fig. 1 abgebildet ist. Bei künstlich erweiterter Pupille kann aber der Fovealreflex im verkehrten Bilde auch als ein heller Ring oder eine Sichel gesehen werden.

Untersucht man mit dem Helmholtz'schen Spiegel, so ist der Fovealreflex ausnahmslos ein lichter Fleck, welcher bei den verschiedensten Drehungen und Verschiebungen des Spiegels seine Lage und Form nicht ändert. Daraus erklärt sich auch, weshalb Jaeger denselben fast stets in dieser Form abgebildet hat. Er untersuchte eben immer mit dem lichtschwachen Helmholtz'schen Beleuchtungsapparate, der auch in dem von ihm angegebenen Spiegel zur Untersuchung im aufrechten Bilde bestimmt ist und von Jaeger so vielfach und eindringlich empfohlen wurde. Nur in Tafel V, Fig. 29 (13) heisst es, dass in dem hellen Flecke eine scharf begrenzte, keilförmige schwarze Stelle, die mit der Basis am oberen äusseren Rande des hellen Fleckes sich befindet und mit ihrer Spitze bis in das Centrum des hellen Fleckes reicht, vorhanden war. Doch wird von dieser dunklen Stelle keine Beweglichkeit angegeben. Ich konnte den Fovealreflex mit dem Helmholtz'schen Spiegel nur äusserst selten als einen recht hellen Fleck sehen, meist ist er nur sehr lichtschwach oft kaum sichtbar. Auch Mauthner dürfte den Fovealreflex deshalb immer als Fleck und nicht als Sichel gesehen haben, weil er sich wohl ebenfalls des Jaeger'schen Spiegels bedient hat.

Untersucht man dasselbe Auge, in dem man den Fovealreflex mit dem Helmholtz'schen Spiegel in der soeben beschriebenen Form gesehen hatte, mit dem Concavspiegel von 18 *cm* Brennweite, so erscheint er als eine helle Sichel, wie dies Coccius beschrieben hat. Die Grösse derselben ist sehr wechselnd. Man kann ungefähr sagen, dass der äussere Durchmesser

der zum Kreise ausgezogenen Sichel zwischen der Hälfte und dem ganzen Durchmesser einer Arterie von der Dicke einer Arteria nasalis oder temporalis — also von der 2. Theilung der Arteria centralis — schwankt. Doch kann die Sichel mitunter auch etwas grösser oder kleiner sein. Sie ist meist sowohl nach innen als nach aussen hin gleich scharf begrenzt, in verschiedenen Augen unter denselben Verhältnissen der Beleuchtung von sehr verschiedener Lichtstärke, von weisser oder etwas gelblich-weisser glänzender Farbe. Nie kann man eine deutliche Refractions-Differenz gegen die übrige Netzhaut, ganz besonders gegen die Körnung des Pigmentepithels in der Mitte der Fovea wahrnehmen.

Diese helle Sichel ändert ihre Lage, wenn man den Kopf sammt dem Spiegel vor dem untersuchten Auge verschiebt. Blickt man von der Nasenseite des beobachteten Auges in dasselbe hinein, so kehrt die Sichel ihre Concavität gegen die Schläfenseite. Beim Einblick von der Schläfenseite aber liegt die Sichel umgekehrt mit der Concavität gegen die Nasenseite, kurz, sie ist mit der Concavität immer nach der der Richtung der Verschiebung entgegengesetzten Seite gewendet. Man kann auf diese Weise willkürlich die Sichel die verschiedensten Stellungen einnehmen lassen. Nicht in jedem Auge aber, doch sehr oft kann man auch beobachten, dass bei einer gewissen Stellung des Spiegels aus der Sichel ein Ring wird.

Bei den Drehungen der kleinen Sichel kann man mehr oder weniger deutlich wahrnehmen, dass sie sich vor dem Augenhintergrunde in der zur Verschiebung des Spiegels entgegengesetzten Richtung etwas verschoben hat. Allerdings ist es bei der Gefässlosigkeit der Stelle oft schwer, dies zu constatiren. Leichter gelingt es, wenn ein sehr dunkler und ziemlich scharf begrenzter Fleck in der Fovea zu sehen ist, oder dann, wenn die im vorigen Abschnitte erwähnten helleren Punkte im Pigmentepithel einen Anhaltspunkt für die Verschiebung des Reflexes abgeben.

Ganz ebenso sieht der Fovealreflex aus, wenn man den s t a r k e n C o n c a v s p i e g e l von 8 *cm* Brennweite zur Hand nimmt. Er ist jetzt nur bedeutend lichtstärker. Auch mit dem durchbohrten Planspiegel kann man den Fovealreflex in derselben Form und Erscheinungsweise wahrnehmen.

Bringt man die verschiedenen Arten der belegten durchbohrten Spiegel in eine g r ö s s e r e E n t f e r n u n g v o n d e r L i c h t q u e l l e, so ist in der Grösse der Sichel oder des Ringes gar kein Unterschied zu bemerken. Ziemlich constant wird man aber sehen, dass bei einem grösseren Abstande der Lampe von dem Spiegel es leichter gelingt, den Fovealreflex als Ring zu beobachten.

Wirft man im aufrechten Bilde p a r a l l e l e S t r a h l e n b ü n d e l in das untersuchte Auge, so erscheint der Reflex gewöhnlich als ein vertical gestellter, manchmal leicht gebogener, sehr glänzender Streifen, welcher auch oft nach der einen Seite hin etwas breiter wird und so eine an-

nähernd dreieckige Form annimmt. Nur schwer gelingt es unter diesen Verhältnissen den Reflex auch als eine Sichel oder als einen Ring zu sehen.

Unter den gewöhnlichen Umständen kann man auch durch eine Drehung des Spiegels keine Veränderung in dem Fovealreflex hervorrufen. Nur dann, wenn man den starken Concavspiegel nimmt und die Lichtquelle in grösserer Entfernung von demselben aufstellt, sieht man den Reflex bei Drehung des Spiegels sich dann ändern, wenn diese Drehung so ausgeführt wird, dass der Reflex einmal in der Mitte oder nahe dem einen, dann nahe dem anderen Rande des Flammenzerstreuungsbildes zu liegen kommt. War der Reflex z. B., wenn er in der Mitte des Flammenbildes gesehen wurde, ein Ring, so wird er eine mit der Concavität temporalwärts gerichtete Sichel, wenn der Spiegel gegen die Schläfenseite des untersuchten Auges gedreht wurde.

Erweitert man die Pupille, so ist der Fovealreflex viel breiter, verwaschener, lichtschwächer und nur bei einer gewissen Stellung des Spiegels sichtbar. Sehr oft fehlt er auch ganz.

Das beschriebene Bild des Fovealreflexes, die Aenderung seiner Form bei dem Gebrauche belegter oder unbelegter Spiegel im aufrechten Bilde, seine verschiedene Erscheinungsweise im aufrechten und verkehrten Bilde, endlich seine Formänderung bei den Verschiebungen der durchbohrten Spiegel vor dem untersuchten Auge sind in der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Augen zu sehen. Ich kann also Parent nicht beistimmen, welcher so viele verschiedene Formen des Fovealreflexes wahrgenommen haben will, dass es unmöglich sei, alle Arten zu beschreiben. Dennoch gibt es einzelne, wenn auch seltene Abweichungen von der Norm.

Es gibt Fälle, in denen man auch bei jungen Leuten überhaupt keinen Fovealreflex mit Sicherheit finden kann oder wo derselbe auch mit den durchbohrten, belegten Spiegeln nur als ein ungemein kleiner heller Punkt erscheint. Mit dem Helmholtz'schen Spiegel sieht man dann gewöhnlich auch keine Andeutung des Reflexes. Ferner kann man manchmal eine Form des Reflexes beobachten, die Anfangs einen sehr unregelmässigen Eindruck macht, sich aber bei den Verschiebungen des Spiegels in folgender Weise herausstellt: Das beobachtete Auge wäre ein linkes. Blickt man von der Nasenseite her ins Auge, so sieht man eine kleine lichtschwache Sichel mit der Concavität gegen die Schläfenseite gekehrt. Temporalwärts und in geringer Entfernung davon liegt ein heller, aus glänzenden, feinen Punkten zusammengesetzter schimmernder Fleck (Fig. 35a). Bewegt man sich nun mit dem Kopfe und dem Spiegel gegen die Schläfenseite des untersuchten Auges, so bewegt sich die kleine Sichel gegen die Papille und schliesst sich mit dem hellen Fleck, der ursprünglich nur temporalwärts von der Sichel lag, zu einem breiten, nach beiden Richtungen hin undeutlich begrenzten und aus denselben kleinen glitzernden Punkten, wie

früher der schläfenwärts von der Sichel gelegene Fleck, bestehenden Ring zusammen (Fig. 35 b).



Fig. 35.

Oder es erscheint der Reflex blos als gegen die Schläfenseite mit den Spitzen gerichtete Sichel von der gewöhnlichen Form, wenn man von der Nasenseite her in's Auge sieht. Verschiebt man Kopf und Spiegel gegen die Schläfe, so entsteht zwischen Sichel und Papille ein schimmernder, aus kleinen glitzernden Punkten zusammengesetzter Fleck. Dieser tritt erst dann auf, wenn aus der Sichel ein Ring oder eine Sichel mit den Spitzen gegen die Papille geworden ist. Im letzteren Falle wird der schimmernde Fleck zu einem vollkommenen Ring, vor dessen temporalwärts gelegenem Theile die Sichel, aber nur undeutlich sichtbar, zu schweben scheint.

Die besondere Form des Fovealreflexes, die Gunn (57) beschreibt, konnte ich auch öfters beobachten. Der Fovealreflex stellt sich zumeist in etwa dreieckiger oder wie Gunn es sagt, in Fächerform dar (Fig. 35 c) oder als eine Sichel mit sehr in die Länge gezogenen oder fast gerade verlaufenden Hörnern (Fig. 35 d). Manchmal ist dieser so gestaltete Reflex aber nur dann wahrnehmbar, wenn man von der Schläfenseite her ins Auge blickt. Bewegt man dagegen aus dieser Stellung den Kopf sammt dem Spiegel gegen die Nasenseite, so schrumpft der fächerförmige Reflex immer mehr zusammen und wird schliesslich zu einem kleinen glänzenden Punkte. Auch kommt es vor, dass neben dem fächerförmigen Reflex ein heller Punkt erscheint. (Fig 35 e.) Ich sah diese Form des Reflexes bei jungen Leuten mit mittlerer Myopie, auch ohne deutlichen Astigmatismus.

Nur in einem einzigen Falle fand ich einen Reflex, der sich in ganz ungewöhnlicher Weise aus vielen glänzenden, um die centralste Partie der Fovea liegenden Flecken zusammensetzte. Diese Flecken verschwanden anscheinend ohne bestimmte Gesetzmässigkeit bei den Verschiebungen des Spiegels, während andere an anderen Punkten wieder auftauchten. Ein sichelförmiger Reflex war dabei bei keiner Stellung des Spiegels zu sehen. Das Auge war sehtüchtig, der Spiegelbefund vollständig normal.

Bei starkem Astigmatismus erscheint auch der Fovealreflex ganz in derselben Weise verzogen wie die übrigen Details des Augenhintergrundes.

Schliesslich will ich noch erwähnen, dass in der That in der Mitte der Fovea manchmal helle Flecke vorkommen, welche keine Reflexerscheinung sind. Man erkennt dies daran, dass sie bei den Verschiebungen eines durchbohrten Spiegels sich gar nicht in ihrer Lage oder Form verändern. Sie sind nicht immer ganz central gelagert, doch habe ich auch einen Fall gesehen, wo dieser helle Fleck vollkommen im Centrum der Fovea lag und wo vor demselben bei der Untersuchung mit einem durchbohrten Spiegel ein Fovealreflex von der bekannten Sichelform sich herum bewegte und sich gegen den Fleck so verschob, dass dieser manchmal das Centrum der zum Kreise ausgezogenen Sichel einnahm (Fig. 35 f), manchmal excentrisch oder selbst ausserhalb dieses Kreises lag (Fig. 35 g.). Die Farbe dieser Flecken ist gelblich weiss, aber nicht glänzend. Sie sind entschieden in das Netzhautgewebe, meist wohl ins Pigmentepithel zu verlegen. Solche Befunde kommen bei sonst normalen Augen vor, sind übrigens äusserst selten.

Erklärung der ophthalmoskopischen Erscheinungen.

Es ist nach dem Vorhergehenden klar, dass der Fovealreflex unmöglich durch einen Reflex an den Seitenwänden der Netzhautgrube erklärt werden kann. Die Netzhautgrube in der Grösse von 0·2—0·4 *mm* Durchmesser, wie man sie früher angenommen hat, muss natürlich noch stärker geneigte Wände haben als die Fovea in der Grösse, wie sie in Fig. 34 dargestellt ist und doch sehen wir, dass bereits hier das an den Seitenwänden regelmässig reflectirte Licht die Pupille nicht mehr verlassen kann. Da aber die Fovea überhaupt sehr gross ist, so dass der horizontale Durchmesser derselben (wenn man vom Beginne der Einsenkung an misst) den Durchmesser der Papille übertrifft, so würde ein Reflex von der Seitenwand der Grube nur dann möglichst klein erscheinen, wenn er dort entstünde, wo der Clivus in den Fundus der Fovea oder in die Foveola fundi übergeht. Auch dann würde der Reflex aber noch viel grösser sein müssen, als wir ihn mit dem Spiegel finden.

Es geht ferner aus der Beobachtung des Reflexes, bei der Untersuchung mit durchbohrten Spiegeln, direct hervor, dass derselbe ein verkehrtes Bild jenes sichelförmigen Theiles des Spiegels ist, der bei der betreffenden Stellung des Spiegels das leuchtende Object für die spiegelnde Fläche abgibt. Bewegt man sich mit dem Spiegel gegen die

Nasenseite des untersuchten Auges, so ist das leuchtende Object ein sichelförmiger, mit den Spitzen nasalwärts gerichteter Theil des Spiegels. Die Sichel erscheint dann mit der Concavität gegen die Schläfenseite gekehrt. Ein solches verkehrtes Bild kann nur von einer concaven Fläche geliefert werden. Die Krümmung dieser concaven Fläche muss sogar in den meisten Fällen eine recht regelmässig sphärische sein, denn der Fovealreflex stellt gewöhnlich eine sehr regelmässige, gar nicht verzerrte Sichel dar.

Ein schlagender Beweis dafür, dass der Fovealreflex als ein verkehrtes Bild eines sichel- oder ringförmigen Theiles des Spiegels aufgefasst werden muss, lässt sich dadurch erbringen, dass man (wie dies oben bei den ringförmigen Netzhautreflexen geschehen ist) einen sectorförmigen Theil des Spiegels schwärzt.

Liegt z. B. der schwarze Sector nach oben, so ist, wenn derselbe dort, wo er an das Spiegelloch anstösst, eine ansehnliche Breite (3 *mm*) hat und wenn man durch den unteren Theil der Pupille auf die Fovea sieht, ein ungefähr dreieckiges Stück des Spiegels neben dem Sector das leuchtende Object. (Genauer ist die Form dieses Theiles des Spiegels etwa die eines Dreieckes, dessen eine gegen die Mitte des Dreieckes convexe Seite nach innen-unten, die andere nach innen-oben sieht [oder umgekehrt] und dessen dritte Seite durch ein Stück eines gegen die Mitte des Dreieckes concaven Kreisbogens ersetzt wird.) Da der schwarze Sector, neben dem Spiegelloch nämlich etwa die Breite der Pupille hat, so kann man, wenn man überhaupt das Augeninnere erleuchten will, nicht gerade durch den unteren Theil der Pupille ins Auge blicken. Man muss vielmehr den Spiegel so halten, dass man innen-unten oder aussen-unten durch die Pupille hineinsieht. Der Fovealreflex hat dann dieselbe Form wie der vor der Pupille liegende Theil des Spiegels, nur dass er diesen Theil verkehrt abbildet. Verschiebt man dann den Spiegel so, dass man von obenher neben dem oberen Pupillarrande ins Auge blickt, so erscheint der Fovealreflex als eine Sichel mit der Convexität nach oben.

Da nun die Fovea selbst mit ihren Seitenwänden den Reflex nicht erzeugen kann, ebensowenig wie der Fundus foveae, der ja auch nicht immer vorhanden ist, so bleibt nur die F o v e o l a zur Erklärung der Erscheinung übrig. Doch kann diese unmöglich blos die von K u h n t angegebene Grösse haben, sie muss vielmehr bedeutend grösser sein. Würde sie nämlich nur so gross sein, wie es Kuhnt beschreibt (5—7 Zapfenbreiten), so müsste der Reflex auch nur sehr klein sein, denn er würde einen nur sehr kleinen Hohlspiegel bilden, durch dessen Ränder das Reflexbild begrenzt sein müsste. Da aber der Fovealreflex, wie angegeben, etwa zwischen der Grösse eines halben und ganzen Durchmessers eines Arterienastes der

zweiten Theilung schwankt, so kann man den Durchmesser des Reflexes zwischen 0·03 und 0·07 *mm* annehmen. (Siehe Seite 83).

Die reflectirende Fläche muss aber auch noch bedeutend grösser sein als dieses Maass, denn der sichelförmige Fovealreflex bewegt sich bei den Aenderungen der Richtung der Gesichtslinie des Beobachters in der entgegengesetzten Richtung, in welcher man den Spiegel verschoben hat. Es ist dies selbstverständlich eine parallaktische Verschiebung und beruht ganz auf derselben Ursache wie die scheinbare Verschiebung der übrigen Netzhautreflexe, nämlich darauf, dass der Reflex vor der spiegelnden Fläche im Glaskörper seinen Ort hat. Würde nun der sichelförmige Fovealreflex, wie wir ihn bei einer bestimmten Stellung des Spiegels wahrnehmen, durch die Ränder der spiegelnden Fläche begrenzt, so müsste er bei einer geringen Aenderung der Lage der Gesichtslinie des Beobachters zur Netzhautoberfläche sich sogleich in seiner Form ändern. Er könnte dann nicht mehr eine ganze Sichel sein, sondern dieselbe würde irgendwo einen Defect zeigen oder mindestens an einer Stelle, dort wo das Spiegelbild nicht mehr vor die spiegelnde Fläche fällt, schmäler erscheinen. Es ist dies nun nicht nur nicht der Fall, sondern wir sind vielmehr im Stande, auch eine deutliche Verschiebung des Reflexes vor der spiegelnden Fläche wahrzunehmen. Dies ist aber nur möglich, wenn die spiegelnde Fläche um ein Bedeutendes grösser ist als das Spiegelbild.

Blicken wir nun auf die früher gegebenen anatomischen Befunde zurück, so wurde im Falle II, wo die Retina vollständig in situ geblieben war, in der That eine nach vorn concave Fläche von 0·15—0·16 *mm* Durchmesser gefunden. Im Falle I, wo die Retina an der dünnsten Stelle einen Einriss zeigte, war allerdings die innere Oberfläche der Retina daselbst plan; legte man die Membrana limitans externa der eingerissenen Partie in ein Niveau mit der Limitans externa in den benachbarten Partien, so resultirte daraus in der Mitte der Fovea eine nach vorn concave Einbiegung der inneren Oberfläche von 0·12 *mm* Durchmesser. Im Falle V war die Retina an der dünnsten Stelle nicht eingerissen, die vordere Fläche der Retina plan. Die Limitans externa und ihr folgend die äussere Begrenzung der Zapfenschicht war aber nach vorn convex. Auch hier musste die innere Oberfläche der Retina eine Concavität in der Mitte der Fovea zeigen, sobald man die Limitans externa daselbst vollständig geradlinig, d. h. parallel zur äusseren Oberfläche der Netzhaut verlaufend denkt. Wir sind somit auch bei diesem Präparate, bei dem die Retina völlig faltenlos geblieben war, gezwungen, diesen Verlauf der Limitans externa anzunehmen, da die einzelnen Elemente des Gewebes vor der Limitans vollständig zur Seite weichen müssten, um eine nennenswerthe Concavität der inneren Oberfläche der Retina zu ermöglichen, ohne dass die Limitans externa in ihrer nach vorne convexen Verlaufsrichtung geändert würde. Dass die innere Ober-

fläche der Retina aber in der Mitte der Fovea gegen den Glaskörper zu concav sein muss, das kann man nach der Beobachtung des Fovealreflexes mit eben derselben Sicherheit behaupten, als dass eine Papille excavirt sein muss, wenn man die Gefässe innerhalb der Papille in einem emmetropischen Auge nur mit Concavgläsern sehen kann.

Man kann auch aus dem Durchmesser des Fovealreflexes annähernd den Krümmungsradius der spiegelnden Fläche berechnen. Würde der Durchmesser des durch Verlängerung der Sichel entstehenden Kreises 0·03 *mm* betragen, so müsste der Krümmungsradius der spiegelnden

Fig. 36.

Fläche 0·3 *mm*, ihre Brennweite also 0·15 *mm* sein, wenn wir den Durchmesser der Pupille zu 4 *mm* annehmen.

In Fig. 36 ist der Fovealreflex für eine spiegelnde Fläche von diesem Krümmungsradius und etwa 0·14—0·15 *mm* Durchmesser der vertieften Stelle der Retina in 100facher Vergrösserung gezeichnet. Die Tiefe der Foveola beträgt in der Zeichnung 1·5 *mm*, der Reflex würde, wenn die ganze Pupille von Licht durchsetzt wäre (beim Helmholtz'schen Spiegel) von f_1 bis f_2 gehen. Wenn aber nur ein Theil der Pupille wie in Fig. 16 von Lichtstrahlen, die zu der spiegelnden Fläche gehen, durchsetzt wird, so dass ein sichelförmiger Theil des Spiegels das leuchtende Object ist, so wäre $f_1 f_3$ der Durchschnitt des breiten Theiles der Sichel. Die Entfernung von f_1 bis f_2 ist in der Zeichnung = 3 *mm*. Da f_3 das Bild des Randes des Spiegelloches ist, welches sich in der vorderen Brennebene befindet, so liegt f_3 genau in der Brennebene der spiegelnden Fläche. Auch f_1 (und ebenso f_2) ist das Bild jenes periphersten Punktes des Spiegels, von dem noch Licht in die Pupille kommen kann. f_1 und f_2 liegen deshalb ebenfalls in der Brennebene der spiegelnden Fläche. Dies erklärt uns, warum wir beide Ränder des Fovealreflexes scharf sehen.

Der sehr kleine Abstand des Reflexes von der inneren Netzhautoberfläche (in unserem Falle 0·15 *mm*) bringt es mit sich, dass man die Lage des Reflexes vor der Retina wohl durch seine parallaktische Verschiebung, nicht aber durch eine Refractionsdifferenz erkennen kann.

Warum man bei blosser D r e h u n g d e s S p i e g e l s für gewöhnlich keine Veränderung am Fovealreflex wahrnimmt, wird schon durch das auf Seite 57 Gesagte erklärt. Dagegen haben wir oben erwähnt, dass bei Ver-

wendung des starken Concavspiegels und bei einem bedeutenden Abstand der Lichtquelle von dem Spiegel doch eine Gestaltänderung am Fovealreflex zu bemerken ist. Auch diesbezüglich brauchen wir blos auf das, was zur Fig. 17 auf Seite 44 und Seite 60 gesagt wurde, zu verweisen. Der Fovealreflex muss sich unter diesen Umständen aus ganz demselben Grunde ändern, den wir für die Bewegung des Reflexstreifens auf den Gefässen unter den gleichen Verhältnissen angeführt haben (Siehe Seite 110).

Der Fovealreflex kann natürlich eben so wenig wie der Reflexstreifen auf den Gefässen durch den Gebrauch verschiedener Spiegel oder eine verschiedene Entfernung der Spiegel oder der Lichtquelle in seiner Grösse und Form geändert werden. Dass bei grösserer Entfernung der Lichtquelle von dem Spiegel der Fovealreflex viel leichter als ein Ring erscheint, hat seinen Grund darin, dass unter diesen Umständen die Pupille wegen der schwächeren Beleuchtung weiter bleibt. Es kann somit leichter ein ringförmiger Theil des Spiegels für die concave spiegelnde Fläche das leuchtende Object abgeben.

In jenen Fällen, wo die ganze Pupille von Licht durchsetzt ist und also ein scheibenförmiger Theil des Spiegels die Lichtquelle ist — beim Helmholtz'schen Spiegel — ist der Reflex eine kleine helle Scheibe, die natürlich durch keine Verschiebung oder Drehung des Spiegels ihre Form ändern kann, vorausgesetzt, dass der Reflex noch immer ganz vor der spiegelnden Fläche liegt und dies ist wenigstens bei enger Pupille, auch bei etwas schiefer Lage der Gesichtslinie des Beobachters zur spiegelnden Fläche noch immer der Fall. Dagegen kann man allerdings bei Verschiebungen des Spiegels (oder auch nur des Kopfes hinter dem Spiegel) eine mehr oder weniger deutliche Bewegung des Reflexes vor seinem Hintergrunde bemerken. Da diese Bewegung aber wegen des Mangels an Anhaltspunkten an der Netzhaut nicht immer leicht zu constatiren ist, so wird man wohl bei der Verwendung des Helmholtz'schen Spiegels oft im Zweifel bleiben, ob es sich da wirklich um einen Reflex handelt. Dass ein heller Fleck in der Fovea kein Reflex ist, das kann man dann leicht nachweisen, wenn man mit dem durchbohrten Spiegel untersucht und dabei constatiren kann, dass der sichelförmige Reflex sich gegen den völlig unbeweglich und unveränderlich bleibenden Fleck verschiebt (Fig. 35 f, g).

Im verkehrten Bilde müsste streng genommen der Fovealreflex auch immer als eine Sichel erscheinen, da in dem Bilde, welches die Convexlinse von dem Spiegel in der Gegend der Pupille etwa entwirft, auch das Spiegelloch erscheinen muss. Doch ist dieses Bild so klein, dass besonders im Hinblick auf die schwache Vergrösserung im verkehrten Bilde der Fovealreflex nur als ein heller Punkt erscheint. Auch muss das Bild des Spiegelloches genau mit dem Krümmungsmittelpunkte der spiegelnden Fläche centrirt sein. Bei erweiterter Pupille gelingt es deshalb leichter, den Reflex

als Ring zu sehen. Auch ist der Reflex dann lichtstärker und kann wohl das Bild des ganzen Spiegels sein. Dass bei Erweiterung der Pupille der Fovealreflex sehr breit, undeutlich, verwaschen und lichtschwach wird, ist aus ganz denselben Gründen erklärlich wie die analogen Erscheinungen bei den übrigen Netzhautreflexen. Das völlige Verschwinden des Fovealreflexes bei sehr schiefer Lage der Gesichtslinie des Beobachters zur Mitte der Fovea, bei erweiterter Pupille, hat seine Ursache darin, dass man unter diesen Umständen so schief auf die spiegelnde Fläche sieht, dass der Fovealreflex nicht mehr vor derselben liegt. Er muss deshalb verschwinden. Bei enger Pupille kommt diese Erscheinung deshalb nicht vor, weil ein so schiefer Einblick in das Auge überhaupt nicht möglich ist.

Dass der Fovealreflex dann wenn man bei erweiterter Pupille im aufrechten Bilde parallele Strahlenbündel auf die Retina wirft, meist nicht als Sichel oder Ring, sondern nur als ein Strich oder Dreieck erscheint, beruht darauf, dass das von der Convexlinse (Fig. 15) entworfene Flammenbild sehr leicht neben das Spiegelloch zu liegen kommt. Nur dann, wenn das Spiegelloch sich mitten in dem Flammenbilde F_1F_2 (Fig. 15) befindet, wird man einen Ring als Reflex wahrnehmen. Ist das Spiegelloch in dem Flammenbilde F_1F_2, aber excentrisch gelegen, dann sieht man den Fovealreflex als Sichel.

Noch hätten wir schliesslich die abnormen Erscheinungsformen des Fovealreflexes zu besprechen und deren Erklärung zu versuchen. Der in Fig. 35 a abgebildete Reflex, den man beim Einblicke von der Nasenseite in das untersuchte Auge wahrnimmt, entsteht wohl folgendermassen: Die Sichel mit den temporalwärts gerichteten Spitzen ist durch die concave Fläche der Foveola in der gewöhnlichen Weise erzeugt. Der schimmernde Fleck temporalwärts davon ist durch Reflexion an der convexen Fläche beim Uebergange in die concave (bei a oder b Fig. 36) hervorgerufen. Nur muss die convexe Fläche nach vorn zu convex sein, ähnlich wie die vordere Fläche der Retina im Bereiche ihrer grössten Dicke um die Fovea. Es würde also die innere Oberfläche der Retina eine leichte Erhebung zeigen, bevor sie sich zur Foveola einsenkt. Dieser Fleck liegt temporalwärts von der Mitte der Fovea, weil er ein undeutliches aufrechtes, durch eine convexe Fläche erzeugtes Bild des sichelförmigen, mit den Spitzen gegen die Nasenseite hin sehenden Theiles der Pupille ist. Da diese spiegelnde convexe Fläche aber offenbar nicht vollkommen regelmässig geformt ist, so ist das Bild kein scharfes und regelmässiges, sondern nur ein aus vielen glänzenden Punkten bestehender Schimmer. Dass es aber doch das Bild einer annähernd convexen Fläche ist, geht daraus hervor, dass dieser Reflex sich nach der entgegengesetzten Seite zum Ring schliesst als der sichelförmige Fovealreflex. Verschiebt man sich nämlich mit dem Kopfe und dem Spiegel gegen die Schläfenseite des untersuchten Auges, so

würden sich die früher gegen die Schläfenseite gerichteten Spitzen der Sichel immer mehr und mehr verlängern und sich endlich vereinigen. Der schimmernde Fleck wird aber gegen die Nasenseite hin immer ausgedehnter und ausgedehnter und wird endlich ebenfalls zu einem sehr breiten, sehr hell glänzenden unregelmässigen Ring (Fig. 35 b), vor welchem man dann den anderen ringförmigen Fovealreflex bemerken kann. In Besonderheiten der Stellung dieser reflectirenden convexen Fläche zum einfallenden Lichte wird es dann liegen, dass man den schimmernden Fleck neben dem gewöhnlichen Fovealreflex manchmal nur dann sieht, wenn man gerade von vorn oder etwas von der Schläfenseite ins Auge blickt, so dass der gewöhnliche Fovealreflex als Ring oder Sichel mit den Spitzen gegen die Papille erscheint.

Der eigenthümliche Fovealreflex bei Myopie kann nicht nur in einer schiefen Lagerung einer sphaerischen spiegelnden Fläche zur Gesichtslinie des Beobachters seinen Grund haben, denn sonst würde der sichelförmige oder ringförmige Reflex eben nur bei einer gewissen Lage des Spiegels sichtbar werden und bei der Verschiebung des Spiegels würde man einen Defect an der Sichel oder an dem Ringe wahrnehmen, nicht aber eine Verzerrung derselben. Auch ein Astigmatismus, der übrigens nicht nachweisbar war, kann nicht die Ursache sein, denn sonst müsste der Fovealreflex bei den mannigfachen Verschiebungen des Spiegels vor dem Auge immer als eine Sichel, wenn auch als eine verzerrte erscheinen. Es muss also die spiegelnde Fläche selbst eine andere Krümmung haben, u. zw. wohl in der horizontalen Richtung eine geringere, da in dieser Richtung die Sichel länger aussieht. Es macht nicht den Eindruck, dass die Sichel von der gewöhnlichen Grösse gleichsam durch eine Verkürzung in der verticalen Richtung in ihrem horizontalen Durchmesser länger aussieht, sondern es scheint, dass der verticale Durchmesser der Sichel derselbe geblieben ist, der horizontale aber verlängert.

Es ist wohl sicher, dass die Ausdehnung des hinteren Poles des Auges überwiegend in der horizontalen Richtung erfolgt, worauf ja auch die Verziehung des Scleroticalcanales, die gewöhnlich nach aussen zu statthat hindeutet. In der That waren in den Fällen, in denen ich eine besondere Form des Fovealreflexes bei Myopie sah, sichelförmige Coni nach aussen vorhanden. Durch diese Ausdehnung des hinteren Poles, welche etwas stärker im horizontalen Meridiane ist, kann sehr wohl die Krümmung der Foveola, die sonst eine sehr regelmässig sphärische ist, in ihrem horizontalen Meridian geringer werden.

Der helle Fleck, in den sich die verzogene Sichel beim Einblick von der Nasenseite her verwandelt, kann dadurch entstehen, dass der Hohlspiegel, den die Foveola darstellt, schief gestellt ist, so dass sein Krümmungsmittelpunkt nicht vor der Mitte der Fläche, sondern vor deren tem-

poralwärts gelegenem Randtheil liegt. Die Foveola würde also nicht nach vorn, sondern gegen die Schläfenseite zu sehen, was ebenfalls durch die Verziehung des Augengrundes bei Myopie erklärlich ist. In Folge dessen liegt aber der ganze Reflex nur dann vor der spiegelnden Fläche, wenn man von der Schläfenseite ins Auge sieht. Wenn die Gesichtslinie des Beobachters aber knapp neben dem nasalen Rande der Pupille verläuft, so kann der Untersucher nur einen kleinen Theil des Reflexes, der eben noch vor der spiegelnden Fläche Platz hat, sehen. Der Reflex schrumpft daher zu einem hellen Fleck zusammen. Findet man aber neben dem fächerförmigen Reflex einen hellen Fleck (Fig. 35 e), so kann dieser nur von einem Reflex an einer nach vorn convexen neben der Foveola liegenden Fläche herrühren.

Die Erklärung dafür, dass der Fovealreflex manchmal, aber nur selten wirklich auch mit einem durchbohrten Spiegel nur als heller Punkt erscheint, kann nur darin gesucht werden, dass eben in diesen Fällen die Foveola eine sehr unregelmässige, mehr trichterförmige Vertiefung ist, so dass ein deutliches Bild einer Sichel oder eines Ringes nicht entstehen kann, sondern nur ein heller Punkt.

Für den oben auf Seite 194 beschriebenen eigenthümlichen Reflex im Bereiche des Macularreflexes kann ich nach der soeben gegebenen Erklärung des Fovealreflexes den Grund nur in einer besonderen Beschaffenheit der Retina suchen. An jenen Stellen müssen sich zwei convexe, ein aufrechtes Bild liefernde spiegelnde Flächen befunden haben. Ihr Krümmungsradius dürfte etwa doppelt so gross als jener der Foveola gewesen sein.

Der Fovealreflex entsteht also durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der Foveola.

Seine Form hängt davon ab, ob eine ununterbrochene spiegelnde Fläche vor der Pupille das leuchtende Object ist (Helmholtz'scher Spiegel) oder ob in der spiegelnden Fläche sich ein Defect befindet (durchbohrte belegte Spiegel). Im ersteren Falle erscheint der Reflex als eine helle Scheibe, im zweiten als eine Sichel. Beide verschieben sich bei Verschiebungen des Spiegels vor ihrer Unterlage, die Sichel dreht sich aber auch, je nachdem der sichelförmige Theil des Spiegels vor der Pupille, dessen verkehrtes Bild der Fovealreflex darstellt, gelagert ist. Liegt das Spiegelloch vor der Pupille, so dass ein ringförmiger Theil des Spiegels Strahlen zur Foveola sendet, so erblicken wir den Fovealreflex als einen Ring.

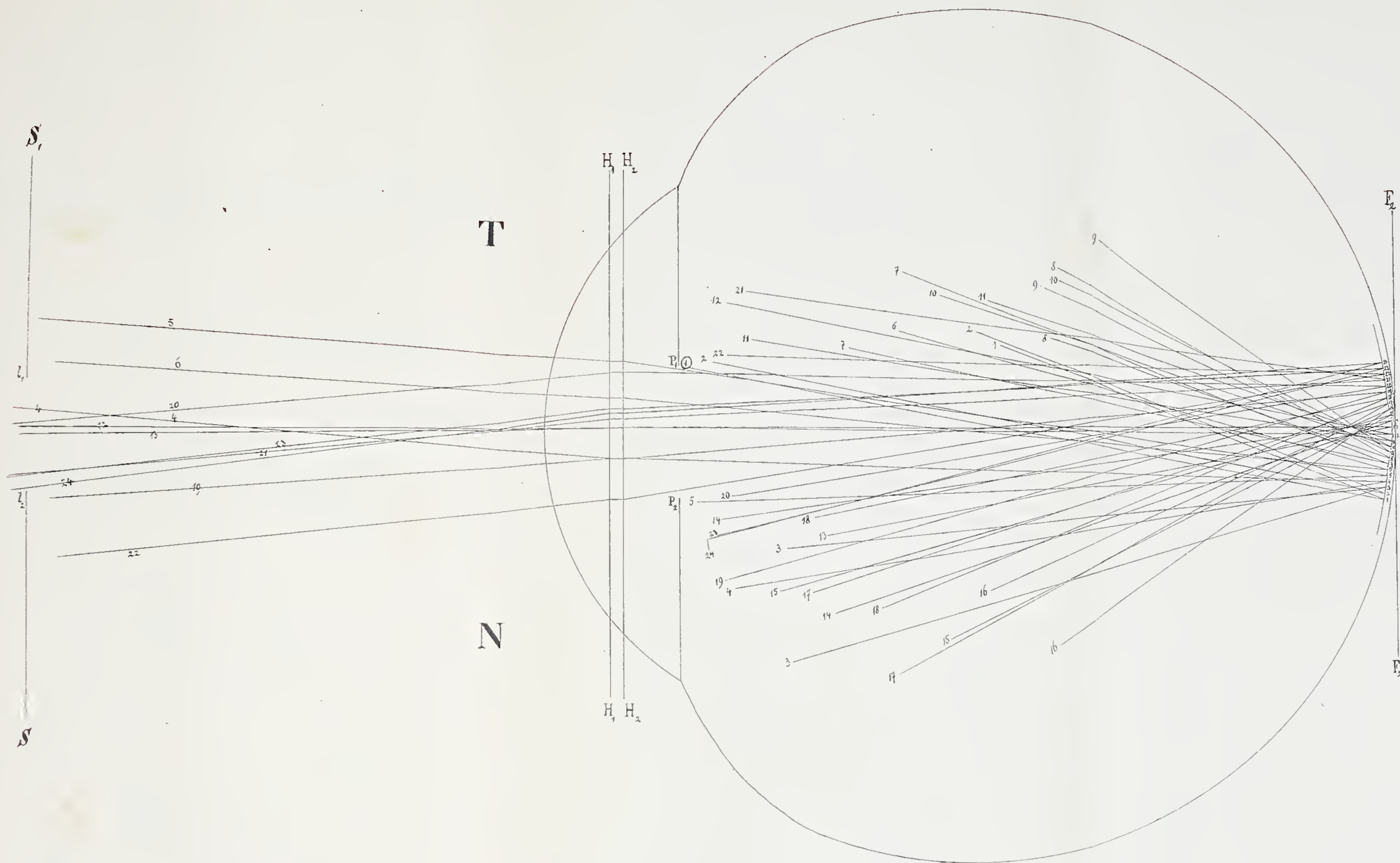
Literaturverzeichniss.*)

1. **Helmholtz.** Beschreibung eines Augenspiegels 1851.
2. **van Trigt.** Nederlansch Lancet 1853. [Citirt nach Mauthner (11).]
3. **A. Coccius.** Ueber die Anwendung des Augenspiegels. Leipzig, S. 65, 1853.
4. **Liebreich.** Ueber die Farbe des Augengrundes. Graefe's Archiv, I. 2. 1855.
5. **Ed. v. Jaeger.** Ergebnisse der Untersuchung des menschlichen Auges mit dem Augenspiegel. Sitzungsbericht der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. XV. Bd. 1855.
6. **Liebreich.** Histologisch-ophthalmoskopische Notizen. Graefe's Archiv, IV. 2. 1858.
7. **Liebreich's** Atlas der Ophthalmoskopie 1863.
8. **R. Schirmer.** Ueber das ophthalmoskopische Bild der Macula lutea. Graefe's Archiv, IX. 1. 1864.
9. **C. Schweigger.** Vorlesungen über den Gebrauch des Augenspiegels. Berlin 1864.
11. **L. Mauthner.** Lehrbuch der Ophthalmoskopie 1868.
13. **E. v. Jaeger.** Ophthalmoskopischer Handatlas 1869.
14. **Edw. G. Loring.** The light-streak seen in the centre of the retinal vessels with the ophthalmoscope. Transactions of the American ophthalmological society. 1870.
15. **Stellwag.** Lehrbuch der Augenheilkunde. 4. Auflage. Fig. 31 und Fig. 32, 1870.
16. **A. Coccius.** Die Heilanstalt für arme Augenkranke. Leipzig. 1870.
17. **Nagel.** Jahresbericht über die Fortschritte der Ophthalmologie, Seite 208, 1870.
18. **E. G. Loring.** Halo round macula. Transactions of the American ophth. Society. 1871.
19. **Leber.** Nagel's Jahresbericht der Ophthalmologie. S. 291. 1871.
20. **Schneller.** Ueber das ophthalmoskopische Bild der grösseren Netzhautgefässe. Graefe's Archiv, Bd. XVIII. 1. 1872.
21. **E, Delorme.** De la région maculaire et de sa circulation. Journal d'ophthalmologie. (Nach Nagels Jahresbericht) 1872.

*) In diesem Literaturverzeichniss sind nur jene Arbeiten angeführt, die sich auf das eigentliche Thema dieses Buches, auf die Lichtreflexe der Retina beziehen. Andere Literaturangaben finden sich unter dem Text. Durch ein Versehen sind die Zahlen 10 und 12 ausgelassen worden.

22. **Otto Becker.** Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung in der menschlichen Netzhaut. Graefe's Archiv, Bd. XVIII. 1. 1872.
23. **Heuse.** Ueber die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung. Graefe's Archiv, XVIII. 2. p. 236. 1872.
24. **Magnus.** Ophthalmoskopischer Atlas. Leipzig. 1872.
25. **E. G. Loring.** The light-streak in the centre of the retinal vessels. Transactions of the American ophthalmological society. 1873.
26. **Donders.** De lichtstreep op de netvliesvaten. Bybladen, 14 de Verslag, Nederl. Gasthuis voor ooglijders. (nach Nagels Jahresbericht für 1873, Seite 203) 1873.
27. **Krenchel.** Untersuchungen über die Folgen der Sehnervendurchschneidung beim Frosche. Graefe's Archiv f. Ophthalmologie, XX. 1. 1874.
28. **H. Schmidt.** Die Farbe der Macula im Auge des Menschen. Centralblatt f. die medic. Wissenschaften N. 57. 1874.
29. **J. Gayat.** Phénomènes ophthalmoscopiques invoqués comme signes de la mort. Annal. d'occulist. T. 73. 1875.
30. **Brecht.** Ueber den Reflex in der Gegend der Macula. Graefe's Archiv, XXI. 2. 1875.
31. **Schmidt-Rimpler** Die Macula lutea anatomisch und ophthalmoskopisch. Graefe's Archiv, XXI. III, 1875.
32. **E. G. Loring.** The Halo round the macula, 5 th. international ophth. Congress. New-York 1876.
33. **Ed. v. Jaeger.** Ergebnisse der Untersuchung mit dem Augenspiegel, Wien 1876.
34. **Horner.** Ueber Sehpurpur. Bericht der Heidelberger ophthalmol. Gesellschaft. Zehender. XV. Bd. 1877.
35. **Schmidt-Rimpler.** Sehroth bei Amaurose und Bemerkungen über die ophthalmoskopische Farbe des Augenhintergrundes. Centralblatt für die medic. Wissenschaft. N. 33. 1877.
36. **L. Weiss.** Ein neuer ophthalmoskopischer Befund im myopischen Auge und seine Bedeutung. Tagebl. der Naturforscherversammlung in Baden-Baden. S. 339 und klin. Monatsblätter f. Augenheilkunde, S. 489. 1879.
37. **Parent.** Etude sur les reflets de la rétine. Recueil d'ophth. S. 455. 1880.
38. **Kühne.** Notiz über die Netzhautfarbe belichteter menschlicher Augen. Untersuchungen aus dem physiol. Institute in Heidelberg. Bd. III. S. 194. 1879.
39. **Schweigger.** Lehrbuch der Augenheilkunde. 4. Aufl. 1880.
40. **Schneller.** Zur Lehre von der Ernährung der Netzhaut. Graefe's Archiv f. Ophthalmologie, XXVI. 1. 1880.
41. **Wecker** et **Masselon.** Ophthalmoskopie clinique. Paris 1881.
42. **Hirschberg.** Zur vergleichenden Ophthalmoskopie, Archiv f. Physiologie von Du Bois-Reymond 1882.

43. **Kühne.** Zum Verhalten der Netzhaut des Menschen. Untersuchungen aus dem physiol. Institute in Heidelberg. Bd. II. S. 89. 1882.
44. **Kühne.** Beobachtungen an der frischen Netzhaut des Menschen. Untersuchungen aus dem physiol. Institute in Heidelberg, Bd. II. S. 69. 1883.
45. **Kühne.** Notizen zur Anatomie und Physiologie der Netzhaut. Untersuchungen aus dem physiol. Institute in Heidelberg, Bd. II. S. 378. 1882.
46. **F. Ostwalt.** Experimentelle Untersuchungen über den centralen Reflexstreifen an den Netzhautgefässen. Hirschberg's Centralblatt 1883.
47. **Spencer-Watson.** A hitherto undescribed appearance of the retina or »shot silk retina«. American Journ. of medical science u. British medical journal (nach Nagel's Jahresbericht) 1884.
48. **Schleich.** Die Augen 150 neugeborener Kinder ophthalmoskopisch untersucht. Nagel's Mittheilungen, Bd. II. 1. Heft. 1884.
49. **Heuse.** Ein Lichtreflex der Retina. Graefe's Archiv, XXX. 1. 1884.
50. **Berlin.** In der Discussion über den Vortrag von Weiss. Bericht der Heidelberger ophthalmologischen Gesellschaft, S. 182. 1885.
51. **Weiss.** Ueber den an der Innenseite der Papille sichtbaren Reflexbogenstreifen und seine Beziehung zur beginnenden Kurzsichtigkeit. Graefe's Archiv, XXXI. 3. 1885.
52. **L. Weiss.** Ueber die ersten Veränderungen des kurzsichtigen, beziehungsweise kurzsichtig werdenden Auges. Bericht über die XVII. Versammlung der ophth. Gesellschaft in Heidelberg. 1885.
53. **M. Knies.** Ueber Myopie und ihre Behandlung. Graefe's Archiv. XXXII. 3. 1886.
54. **A. Vossius.** Leitfaden zum Gebrauche des Augenspiegels, Berlin 1886.
55. **M. Gunn.** Note on certain retinal reflexes visible with the ophthalmoscope. Ophthalmic hospital reports, XI. p. 345. 1887.
56. **J. Stilling.** Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Wiesbaden 1887.
57. **M. Gunn.** Peculiar foveal reflex in connection with Amblyopia in Myopia. Transact. of the ophth. society. 1888.
58. **B. Alex. Randall.** Ueber den nasalen Reflexbogenstreifen von Dr. L. Weiss. Zehenders klinische Monatsblätter 1889.
59. **Königstein.** Praktische Anleitung zum Gebrauche des Augenspiegels, Wien, 1889.
60. **H. D. Noyes.** A text-book on diseases of the eye. New-York 1890.
61. **Michel.** Lehrbuch d. Augenheilkunde. Wiesbaden 1890.
62. **Davis.** The light-streak as seen upon the centre of the retinal vessels due to reflection, refraction or both. Archives of ophthal. XX. 1. 1891.



S
T
N
S
H
H
H
H
P
P
F
F

BEITRÄGE

ZUR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE

DER

MACULA LUTEA DES MENSCHEN

VON

DR. FRIEDRICH DIMMER,

PRIVATDOCENT FÜR AUGENHEILKUNDE AN DER WIENER UNIVERSITÄT.

MIT 12 FIGUREN IM TEXT UND EINER TAFEL.

LEIPZIG UND WIEN

FRANZ DEUTICKE

1894.

Druck von Rudolf M. Rohrer in Brünn.

Vorwort.

Meine im Jahre 1891 erschienene Monographie „Die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut“ bildete die Anregung zu der vorliegenden Arbeit, welche sich in ihrem ersten Theile genauer mit den anatomischen Verhältnissen der Retina in der Gegend der Macula beschäftigt. Derjenige, welcher die erwähnte Monographie gelesen hat, wird in diesem Theile des Buches manches ihm bereits bekannte finden, da ich mir auch erlaubt habe, auf die dort bebeschriebenen Reflexerscheinungen zurückzugreifen, um so ein möglichst vollständiges Bild des Baues der Fovea zu geben, was durch die anatomische Untersuchung allein nicht erreicht werden kann. Diese war zunächst auf die Grösse und Gestalt der Fovea und auf die Verhältnisse der einzelnen Schichten daselbst gerichtet, doch kann ich auch einige Beiträge zur feineren Structur der Retina dieser Gegend liefern. Ferner sei hier auf die mit möglichster Genauigkeit ausgeführten Abbildungen von Schnitten der Retina durch die Fovea hingewiesen, welche ich wohl mit Recht als die ersten richtigen Bilder dieser Art bezeichnen kann.

Im zweiten, physiologischen Theile der Arbeit habe ich mich bemüht, aufgrund der im ersten Theile gewonnenen Anschauungen die entoptischen Erscheinungen in der Maculagegend zu erklären und dieselben zu Schlüssen über die Lage der lichtempfindenden Schichte zu verwerten. Durch die hier auftauchenden Fragen wurde ich auch veranlasst, einige Untersuchungen über die gelbe Farbe der Retina in der Gegend der Macula anzustellen, deren Resultate im anatomischen Theile enthalten sind. Ferner wurde die Retina auf die in ihren einzelnen Schichten vorkommende Doppelbrechung untersucht, wobei sich ebenfalls manches Neue ergab.

Wien, im März 1894.

Der Verfasser.

Inhalt.

I. THEIL.

Zur Anatomie der Netzhaut in der Gegend der Macula lutea.

I.

Structur der Retina in der Gegend der Macula lutea.

Bereits in meiner Monographie über die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut (7)*) habe ich aufgrund anatomischer Befunde, welche mit den ophthalmoskopischen Erscheinungen vollkommen in Uebereinstimmung standen, nachgewiesen, dass die bisher über Grösse und Form der Fovea gemachten Angaben, den Thatsachen nicht entsprechen. Die dort ausgesprochenen Anschauungen haben nun durch weiter fortgesetzte anatomische Untersuchungen, theils eine Bestätigung, theils eine Erweiterung und Ergänzung erfahren. Im folgenden will ich die Resultate dieser Untersuchungen, welche auch auf die Ausbreitung der gelben Farbe in der Netzhaut ausgedehnt wurden, mittheilen. Doch sollen auch die von mir in jener Schrift beschriebenen Netzhautreflexe, welche einen sicheren Rückschluss auf die Oberflächenverhältnisse der Netzhaut gestatten, mit herbeigezogen werden, so dass ich öfters Gelegenheit nehmen werde, auf meine oben erwähnte Monographie zu verweisen.

Es muss zunächst vorausgeschickt werden, dass man natürlich die an den Präparaten gefundenen Maasse als den wirklichen Verhältnissen entsprechend nur dann annehmen darf, wenn die Netzhaut ohne oder mit nur ganz geringer Andeutung von Faltenbildung der Chorioidea anliegend gehärtet war. Fasse ich die in meiner oben citierten Schrift bereits veröffentlichten 3 Fälle mit den später unter-

---

*) Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Buches.

suchten zusammen, so kann ich mich im ganzen auf die Befunde an 10 normalen Netzhäuten stützen, in denen die Retina derart conserviert war. Doch finden sich selbst unter diesen noch Fälle, in denen in oder zwischen den Netzhautschichten Veränderungen aufgetreten waren, so dass die Fovea nicht mehr in ihrer normalen Grösse und Form erhalten war. Ausserdem gelangten noch 2 Augen mit Atrophie der inneren Netzhautschichten zur Untersuchung. Eine Anzahl anderer Bulbi, wo sich bereits deutliche Faltung der Retina im Bereiche der Macula lutea zeigte, wurde nur zum Vergleiche und zur Untersuchung feinerer Structurverhältnisse herangezogen.

Es versteht sich, dass nur frische Augen zur Untersuchung verwendet wurden. In 3 von den angeführten Fällen waren die ganz oder in ihrem hinteren Abschnitte normalen Augen wegen Tumoren der Orbita dem lebenden Körper entnommen worden, die anderen Bulbi wurden in der Zeit von $^3/_4$—$1^1/_2$ Stunden nach dem Tode enucleiert.

Zur Fixierung der Netzhaut wurde theils $3^1/_2$% Salpetersäurelösung, theils (in einem Falle) concentrierte Sublimatlösung mit Zusatz von Essigsäure, zumeist aber das Flemming'sche Chromosmiumessigsäuregemisch verwendet. Stets wurde der Bulbus, bevor er in die betreffende Lösung gelegt wurde, durch einen 6—8 *mm* langen Schnitt am Aequator eröffnet, jedoch so, dass womöglich nur die Sklera durchtrennt wurde, jedenfalls kein Glaskörper abfloss.

Die Flemming'sche Lösung erwies sich als das beste Mittel, um die Netzhaut vollständig in situ zu erhalten und dieselbe gleichzeitig derart zu fixieren, dass das Relief der inneren Oberfläche nicht verändert wird, zwei Bedingungen, welche beide von einer Fixierungsflüssigkeit erfüllt werden müssen, wenn die Form und Grösse der Fovea, wie sie in Wirklichkeit vorhanden ist, nicht geändert werden soll. Es ist ja möglich, dass die Retina sich nicht von ihrer Unterlage abhebt und auch nicht gefaltet ist und doch kann durch Quellung oder Spaltung in oder zwischen einzelnen Netzhautschichten die innere Oberfläche der Netzhaut bedeutend verändert werden. So fand Hulke (1) in einem wegen eines Tumors enucleierten, also völlig frisch in die Härtungsflüssigkeit (Chromsäure) gelangten Auge eine Fovea, die in ihrer Grösse und Form, wie die folgenden Mittheilungen zeigen werden, gewaltig verändert war. Und doch war es ihm in diesem Falle gelungen, die Retina ohne Faltung zu fixieren.

Etwas weniger sicher als die Flemming'sche Lösung wirkt die $3^1/_2$% Salpetersäurelösung. Es kommt vor, dass die durch dieselbe ganz faltenlos fixierte Retina bei der Nachhärtung in Alkohol sich in Falten legt. Die concentrierte Sublimatlösung endlich ruft selbst in völlig frischen Netzhäuten noch Veränderungen hervor, welche die Fovea nicht mehr intact lassen. Die Wirkung dieser beiden Flüssigkeiten konnte sehr wohl in jenen Fällen verglichen werden, wo das eine von zwei unmittelbar nacheinander von einer Leiche enucleierten Augen in Sublimatlösung, das andere in $3^1/_2$% Salpetersäurelösung oder Flemming'sche Lösung gelegt wurde. In einer dieser letzteren Flüssigkeiten wurde die Netzhaut ganz glatt auf der Unterlage aufliegend, auch die Fovea und ihre Umgebung völlig faltenlos gefunden, während sich in der in Sublimat fixierten Retina feine von der Mitte der Fovea nach allen Richtungen ausstrahlende Fältchen, aber keine eigentliche Plica centralis zeigte.

Die Bulbi verblieben in der Salpetersäure meist 5—6 Stunden, in Sublimat im Brutofen bei 40° C. 2—3 Stunden, in Flemming'scher Lösung mindestens einen Tag, worauf in Alkohol (resp. Jodalkohol) nachgehärtet und die Retina der Maculagegend entweder allein, oder, falls sie an der Chorioidea und Sklera haften blieb, sammt dieser in Celloidin oder Paraffin eingebettet wurde. Die Schnitte wurden mittels des Mikrotoms in der Dicke von 4—6—10 μ angefertigt und mit Alauncarmin-Ammoniakcarmin, Haematoxylin-Eosin oder (wenn in Flemming'scher Lösung gehärtet worden war) mit Safranin oder nach Benda's Methode mit Haematoxylin gefärbt.

Die senkrechten Durchschnitte wurden stets entsprechend dem horizontalen Meridian angelegt. Von fast jedem Auge wurden auch Schnitte aus anderen Netzhautpartien zum Vergleiche herangezogen.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass alle jene Fragen, welche nur durch andere Methoden der Präparation (Isolierung etc.) oder mittels anderer Tinctionen gelöst werden können, nicht in den Bereich der Untersuchung gezogen wurden.

Der besseren Uebersicht wegen sollen die Dickenmaasse der ganzen Retina, sowie Distanzen, die in der Ebene der Retina oder an deren Oberfläche gemessen wurden, in Millimetern, die Messungen der Dicke einzelner Schichten oder einzelner Elemente in Mikren angegeben werden.

A. Grösse und Form der Fovea centralis.

Ueberblicken wir die Angaben, die über Grösse und Form der Fovea centralis in der Literatur gemacht werden, so finden wir Folgendes:

Die Fovea wird als eine kleine Grube beschrieben, die im Centrum der gelbgefärbten und als Macula lutea bezeichneten Partie der Netzhaut liegt. Ihre Form soll quer oval sein, ihr grösster transversaler Durchmesser schwankt zwischen 0·2 und 0·4 *mm*.

Diesen Maassen entsprechend wird die Fovea centralis von Max Schultze (2), J. W. Hulke (1), Merkel (3) als eine Vertiefung mit sehr steilen Wandungen abgebildet. Der Winkel, unter dem die innere Oberfläche der Netzhaut zur dünnsten Stelle derselben abfällt, beträgt 40—50°. M. Schultze gibt an, dass das Präparat, nach welchem er die Fovea abbildet, von einem Auge stammte, an welchem „durch die ersten Anfänge einer Plica centralis, wie sie bekanntlich an der Macula lutea sehr bald nach dem Tode aufzutreten pflegt, das Relief nach dem Glaskörper zu verändert war.“ Die Zeichnung zeigt die Macula lutea „ohne Plica, also wie sie sich im Leben verhält.“ Das Auge, von dem Hulke den Durchschnitt durch die Fovea abbildet, wurde während des Lebens wegen eines Tumors enucleiert und in Chromsäure gehärtet, ohne dass sich eine Plica centralis gebildet hätte.

Wadsworth (4) fand in einem Auge, in dem der Glaskörper albuminös verändert war, so dass sich an dem mit Müller'scher Flüssigkeit gehärteten Präparate gar keine Plica centralis vorfand, den horizontalen Durchmesser der Fovea mehr als 1 *mm*, wenn man die Fovea dort beginnen lässt, wo die Netzhaut sich zu verdünnen beginnt, während der Durchmesser der Fovea nur 0·4 *mm* beträgt, wenn man bloss den tieferen Theil, wo der Abhang steiler ist, zur Fovea rechnet.

Kuhnt (5) schildert die Verhältnisse der Fovea centralis an einem Auge, welches in Müller'scher Flüssigkeit gehärtet war und wo die Netzhaut ebenfalls infolge einer eiweissartigen Consistenz des Glaskörpers sich nicht in Falten gelegt hatte. Er unterscheidet die Böschung (clivus), in der die innere Oberfläche der Retina im Bereiche der Fovea zur Mitte der Vertiefung unter einem Winkel von 40—50° abfällt und den Fundus foveae eine plane Stelle am

Grunde der Fovea, deren horizontaler Durchmesser 0·2 *mm*, der verticale 0·15 *mm* beträgt. Im Fundus foveae findet sich eine sehr kleine, die medialsten 5—6 Zapfen deckende Depression, die Kuhnt als Foveola fundi benennt.

Schwalbe (6) schliesst sich in der Beschreibung an Kuhnt an und gibt eine halbschematische nach einem Präparate von Kuhnt angefertigte Zeichnung. Dieselbe entspricht aber, wie ich schon an einem anderen Orte (7) bemerkt habe, durchaus nicht den Angaben, welche im Texte über die Grösse und Gestalt der Fovea gemacht werden, nach welchen der Winkel, unter dem die innere Netzhautoberfläche nach dem Grunde der Fovea abfällt, 35—40° beträgt. Misst man diesen Winkel in der Figur, so findet man ihn gleich 20°. Nun ist eine solche Gestalt der Fovea mit dem angegebenen Durchmesser derselben von 0·2—0·4 *mm* absolut unvereinbar. Wäre der erwähnte Winkel, so wie es in der Zeichnung dargestellt ist, 20°, dann müsste die Retina um sehr vieles dünner sein, als sie es wirklich ist, wenn der Durchmesser der Fovea bloss 0·4 *mm* betragen soll. Man kann sich leicht durch eine in stärkerer Vergrösserung ausgeführte schematische Zeichnung der Fovea davon überzeugen. Unter der Voraussetzung, dass die Netzhaut entsprechend den Angaben der Autoren am Grunde der Fovea bloss 0·1 *mm* dick ist, der Durchmesser der Fovea 0·4 *mm*, der Neigungswinkel am Abhange der Fovea 20° beträgt, würde, wie eine solche Zeichnung zeigt, die Retina am Rande der Fovea bloss etwa 0·16 *mm* dick sein können, während sie doch in der That an dieser Stelle fast doppelt so dick ist. Ferner findet sich in der Figur Schwalbes — ebenfalls nicht in Uebereinstimmung mit dem Texte — kein Fundus foveae. Der Clivus geht vielmehr direct in eine am Grunde der Fovea befindliche, gegen den Glaskörper stark concave Krümmung der inneren Netzhautoberfläche über.

Uebereinstimmend wird von allen Autoren angegeben, dass die Netzhaut in der Umgebung der Fovea wallartig verdickt ist.

Die Dicke der Netzhaut am Grunde der Fovea ist nach Henle „nicht viel über und manchmal unter 0·1 *mm*“, nach Wadsworth 0·17, nach Kuhnt 0·08 *mm*.

In jenen oben erwähnten zehn normalen Augen, in denen die Retina ohne oder mit einer minimalen von der Mitte der Fovea radiär ausstrahlenden Faltung ohne Plica centralis gehärtet war, fanden sich

für den horizontalen Durchmesser der Fovea, gemessen von dem Punkte an welchem die Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche beginnt, folgende Zahlen:

1.	2·0 *mm*	6.	1·1 *mm*
2.	1·115 „	7.	2·0 „
3.	1·26 „	8.	1·58 „
4.	1·8 „	9.	1·58 „
5.	1·4 „	10.	1·13 „

Von diesen Fällen müssen noch einige ausgesondert werden.

In Fall 2 (7, S. 171) war der untersuchte Schnitt etwas schief gefallen und es zeigte sich, dass die Retina im Bereiche der Macula lutea zwar der Chorioidea anlag, in einiger Entfernung davon aber die letztere von der Sklera abgehoben war, was darauf hindeutet, dass die Netzhaut doch etwas geschrumpft war und die mit ihr verbundene Chorioidea von der Unterlage abgezogen hatte. Im Falle 3 waren nach der Härtung zahlreiche feine von der Mitte der Fovea radiär ausstrahlende Fältchen wahrnehmbar. Im Falle 6 war die Retina mit der Chorioidea und der Sklera in Verbindung geblieben und wurde auch mit diesen beiden geschnitten. Die Structur der Retina am Grunde der Fovea zeigte sich aber unter dem Mikroskope so schlecht erhalten und so stark geschrumpft, dass hierdurch jedenfalls der Durchmesser der Fovea um ein erhebliches verkleinert wurde. Der Fall 10 endlich, welcher ein vollständig frisches, während des Lebens enucleiertes und in concentrirter Sublimatlösung gehärtetes Auge betraf, liess deutliche Veränderungen an der Grenze zwischen Zapfenfaserschicht und äusserer reticulärer Schicht erkennen, auf die wir weiter unten noch zurückkommen und welche uns zu der Annahme berechtigen, dass auch hier der Durchmesser der Fovea wesentlich kleiner erschien, als er in Wirklichkeit ist.

Ueberblicken wir nun die Zahlen für den horizontalen Durchmesser der Fovea in den übrigen Fällen (1, 4, 5, 7, 8, 9), so ergibt sich eine Grösse, welche dem Durchmesser der Papille gleichkommt oder denselben sogar (Fall 1, 4, 7) wesentlich übertrifft.

Was den verticalen Durchmesser der Fovea anbelangt, so kann ich zwar für denselben keine an verticalen Schnitten gefundenen Maasse angeben, doch gibt uns hierüber die ophthalmoskopische Untersuchung normaler Augen Aufschluss, wovon später die Rede sein wird.

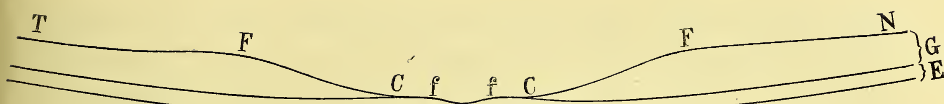


Fig. 1.

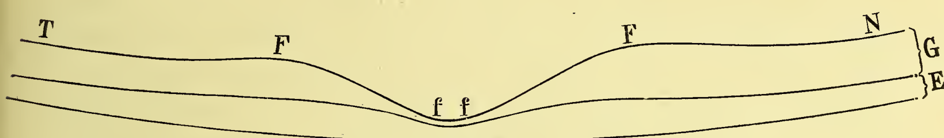


Fig. 2.

FF = Fovea, ff = Foveola, N = nasal, T = temporal, G = = Gehirnschicht, E = Neuroepithelschicht.

Die Figuren 1 und 2 wurden in folgender Weise hergestellt. Zunächst wurden die Präparate mittels eines Zeichenapparates in 27·7maliger Vergrösserung gezeichnet. Dann wurden auf dem Contour der äusseren Netzhautoberfläche in dieser Zeichnung von 3 zu 3 *mm* Senkrechte errichtet und die Dicke der Retina an jeder solchen Verticalen gemessen. Dann zeichnete ich eine der Krümmung der äusseren Netzhautoberfläche in 27·7maliger Vergrösserung entsprechende Linie (also mit dem Radius 318 *mm*, wobei der Krümmungsradius der Retina zu 11·5 *mm* geworden war). Zu dieser Linie wurden nun vom Krümmungsmittelpunkte derselben Radien gezogen, welche die Kreislinie in Abständen von 3 *mm* trafen. Auf diese Radien endlich wurden die Dickenmaasse der Retina aufgetragen, die an den entsprechenden Stellen der mit dem Zeichenapparate hergestellten Zeichnung gefunden worden waren.

Ueber die Verhältnisse der inneren Oberfläche der Retina in der Fovea selbst zeigte die Untersuchung der Präparate Folgendes: Ein eigentlicher Fundus foveae im Sinne von Kuhnt, also eine nahezu plane Stelle am Grunde der Fovea fand sich nur in einem Falle (1) vor, u. zw. im Ausmaasse von 0·7 *mm*. Doch ergab die genaue Untersuchung und Messung an einem nach dem Präparate aufgenommenen Photogramme, dass an dieser Stelle die innere Oberfläche der Retina nach vorne gegen den Glaskörper zu concav war, wie ich dies bereits (7) ausführlich geschildert habe (Fig. 1 CC). Der Krümmungsradius dieser Stelle beträgt nach der Messung an einer in 50facher Vergrösserung hergestellten Zeichnung etwa 2 *mm*. Der Winkel, unter dem der Clivus (Fig. 1 F C) zu dieser am Grunde der Fovea gelegenen, nach

vorne concaven Fläche abfiel, war an der Nasenseite nur etwa 15—16°*), an der Schläfenseite sogar noch weniger. Ich muss hier, wie ich dies bereits a. a. O. gethan habe, ausdrücklich betonen, dass das Präparat, das diese Verhältnisse zeigte, in ganz vorzüglicher Weise conserviert war.

In der Mitte dieser nach vorne schwach concaven Stelle, welche also als Fundus foveae bezeichnet werden könnte, war der Schnitt derart eingerissen, dass daselbst die äusseren Enden der Zapfen nicht in demselben Niveau lagen, wie an anderen Stellen, vielmehr etwas nach vorne gerückt waren. Denkt man sich die Zapfen zurückgelegt, so dass die Limitans externa an dieser Stelle die Fortsetzung der Limitans in der Nachbarschaft bildet, so zeigt sich, dass in der Mitte des nur sehr schwach nach vorne concaven Fundus foveae eine stärkere Depression im ungefähren Ausmaasse von 0·12 *mm* vorhanden ist. Es entspricht diese Vertiefung offenbar der Foveola fundi von Kuhnt (siehe Fig. 1 ff).

In allen übrigen Fällen und auch in jenen, in welchen der Durchmesser der Fovea jenem des eben erwähnten Falles fast oder ganz gleich war (4, 7), gieng der Clivus (Fig. 2) direct ohne Vermittelung eines sogenannten Fundus foveae in eine gegen den Glaskörper stark concav gekrümmte Fläche von etwa 0·12—0·3 *mm* Durchmesser über, welche wir ebenfalls als Foveola bezeichnen müssen (Fig. 2 ff). Es liess sich jedoch deutlich erkennen, dass die Foveola in Wirklichkeit zumeist stärker nach vorne concav sein musste, als sie sich im anatomischen Präparate darstellte. Die Limitans externa zeigte nämlich am Grunde der Fovea nur in 2 Fällen einen ganz geraden, der äusseren Oberfläche der Netzhaut parallelen Verlauf. In allen anderen war sie mehr oder weniger stark nach vorne convex gekrümmt, eine Krümmung, welche die äusseren Enden der Zapfenaussenglieder, dort wo sie gut erhalten waren, vollständig mitmachten. Denkt man sich also die Retina am Grunde der Fovea ganz an die Chorioidea angelegt, so muss die Foveola eine noch stärker concave Krümmung erhalten (siehe Fig. 2). In manchen der untersuchten Augen fand sich an Stelle der Foveola eine ganz plane Stelle oder sogar eine leichte Convexität an der inneren Oberfläche der Netzhaut. Das erwähnte Verhalten der Limitans externa und der Zapfen-

---

*) Der von mir für diesen Fall früher angegebene Winkel von 10—12° bezieht sich auf das Präparat selbst, wo die äussere Netzhautoberfläche etwas weniger gekrümmt war als in der in der beschriebenen Weise angefertigten Zeichnung.

schicht war dann besonders stark ausgeprägt und man konnte daraus auch in diesen Fällen mit Sicherheit auf eine ursprünglich vorhanden gewesene Foveola schliessen.

Der Winkel, unter welchem der Clivus zum Grunde der Fovea abfiel, war wohl natürlich je nach der verschiedenen Grösse der Fovea ein verschiedener, doch in den wohlconservierten Präparaten nie grösser als 25°. Auch die neueste Abbildung der Fovea von Schaper (11) zeigt einen Winkel von 45°, doch war das Präparat Schapers, wie ich später bei der Besprechung der äusseren Faserschicht zeigen werde, durchaus nicht gut erhalten*).

In allen untersuchten Augen war die Netzhaut in der Umgebung der Fovea wallartig verdickt, so dass daselbst die innere Oberfläche der Retina eine deutliche Convexität gegen den Glaskörper zeigt (Fig. 1 und 2).

Die Dicke der Retina am nasalen Rande der Fovea war in 6 Fällen, wo die Fovea offenbar am besten in ihrer Gestalt erhalten war (Fall 1, 4, 5, 7, 8, 9) 0·275—0·41 *mm*, am temporalen Rande 0·22—0·35 *mm* (ohne Pigmentepithel). Constant war in jedem einzelnen Falle die Netzhaut am nasalen Rande der Fovea dicker als am temporalen. Entsprechend diesem Dickenunterschiede fällt auch in jedem Falle der Clivus vom nasalen Rande der Fovea steiler zum Grunde der Fovea ab als vom temporalen (Fig. 1 und 2).

In 2·26 *mm* Entfernung von der Mitte der Fovea nasalwärts maass die Retina 0·25—0·32, in derselben Distanz von der Mitte der Fovea gegen die Schläfenseite 0·2—0·3 *mm*.

Die Dicke der Netzhaut am Grunde der Fovea betrug in jenem Falle, wo sich ein sogenannter Fundus foveae vorfand, im Bereiche desselben 0·1 *mm*, in der Foveola 0·085 *mm*, in den übrigen 5 Fällen mit gut erhaltener Fovea war die Dicke der Retina in der Mitte der Foveola 0·075—0·12 *mm*. (Alle Dickenmaasse der Retina sind ohne das Pigmentepithel zu verstehen.)

---

*) Interessant ist, dass Michaelis (8), obwohl ihm keine Schnittpräparate zur Verfügung standen, die Formverhältnisse der Fovea doch besser wiedergibt als spätere Untersucher. Er bringt auf Tafel XXXIX, Fig. 9, eine Abbildung, welche als „ideale Vorstellung von der Lage der Theile in der Gegend der Macula lutea und am Foramen centrale" bezeichnet ist. Der Clivus fällt hier unter einem Winkel von 17—20° gegen die Mitte der Fovea ab und die Grösse der Fovea entspricht relativ zur Dicke der Retina weit mehr den wirklichen Verhältnissen als die Bilder, die später nach durch die Fovea gelegten Netzhautschnitten gezeichnet wurden.

Es sei mir gestattet hier nochmals darauf hinzuweisen, dass die soeben mitgetheilten Resultate der anatomischen Untersuchung mit dem ophthalmoskopischen Befunde in vollkommener Uebereinstimmung stehen. Bekanntlich erscheint bei jungen Individuen im Bereiche der Macula lutea, besonders bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde, aber auch im aufrechten Bilde dann, wenn man eine stärkere Beleuchtung anwendet, ein glänzender Ring, welcher eine matte, dunklere Stelle umgibt. Die Gestalt dieser letzteren ist gewöhnlich queroval und der verticale kleinere Durchmesser derselben (welcher dem inneren verticalen Durchmesser des glänzenden Ringes entspricht) kommt etwa dem Durchmesser der Papille gleich, während der horizontale ihn meist übertrifft. Oft ist aber jene matte dunklere Stelle, die von dem glänzenden Ringe umfasst wird, kreisrund, aber nur sehr selten, und stets nur um ein geringes kleiner wie die Papille.

Ich habe nun (7) nachgewiesen, dass der glänzende Ring durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der inneren Oberfläche der Retina in der Umgebung der Fovea entsteht, und zwar eben an jener wallartigen Verdickung der Netzhaut, welche die Fovea umgibt. Das an dem Clivus regelmässig reflectierte Licht nimmt aber einen solchen Verlauf, dass es aus der Pupille des untersuchten Auges nicht mehr austritt. Deshalb erscheint uns diese Partie dunkler und glanzlos, und zwar fällt der äussere Rand jener matten Stelle, die von dem hellen Ringe eingefasst wird, genau mit jenem Punkte zusammen, an welchem sich die innere Oberfläche der Retina zum Grunde der Fovea einsenkt. Die matte dunkle Scheibe, welche wir innerhalb des glänzenden Ringes bei der ophthalmoskopischen Untersuchung sehen, gibt uns also genau die Grösse und Form der Fovea centralis an. Es wäre dieser Reflexring, gewöhnlich Maculareflexring genannt, somit richtiger als Fovealreflex zu bezeichnen.

Es soll noch bemerkt werden, dass man in sehr seltenen Fällen innerhalb des grossen glänzenden Ringes einen zweiten, weniger glänzenden Ring sehen kann, welcher von dem grossen durch einen ziemlich grossen Zwischenraum getrennt wird. Er erklärt sich durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der als Fundus foveae bezeichneten, nach vorne schwach concaven Krümmung der inneren Netzhautoberfläche.

Da uns somit die ophthalmoskopische Untersuchung zeigt, dass die Fovea nur äusserst selten und dann nur sehr wenig kleiner ist als die Papille, so können wir mit Bestimmtheit aussagen, dass der

Winkel, unter dem der Clivus zum Grunde der Fovea abfällt, nur in diesen seltenen Fällen und höchstens um einige Grade mehr als 25^0 betragen wird, niemals aber 45^0, 50^0 oder gar noch mehr. Ich muss dies ausdrücklich gegenüber den Bemerkungen Schapers (11) über diesen Punkt hervorheben.

In der Mitte der auf diese Weise mit dem Augenspiegel genau abgrenzbaren Fovea erscheint (besonders bei der Untersuchung im aufrechten Bilde) ein Reflex von gewöhnlich sichelförmiger Gestalt, der sich auch bei Verschiebungen des Spiegels vor dem Auge in einen Ring verwandeln kann — der sogenannte Fovealreflex. Er entsteht wie ich (7) gezeigt habe, durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der Foveola und sollte somit eigentlich Reflex der Foveola genannt werden*).

---

*) Vossius (Leitfaden zum Gebrauche des Augenspiegels. 3. Auflage 1893 Seite 72) schreibt über das Aussehen der Macula lutea: Der Augenhintergrund „erscheint hier im Bereiche einer Stelle von liegend-ovaler Form und annähernd Papillengrösse dunkler pigmentiert, grobkörnig und enthält in der Mitte dieses Fleckes gewöhnlich einen etwa kleinstecknadelkopfgrossen gelblich aussehenden Punkt, die Fovea, um welchen herum man im aufrechten Bilde meist einen kleinen, mondsichel- oder hufeisenförmigen Lichtreflex wahrnimmt, welcher mit den Drehungen des Spiegels wandert, bald die Concavität nach oben, bald nach aussen oder nach innen zeigt und von der geringen Aushöhlung der Netzhaut an der Stelle der Fovea herrührt, resp. von den Wänden der Fovea entworfen wird, wie auch Dimmer annimmt". Vossius stellt sich also vor, dass der Grund der Fovea als heller Punkt erscheint, während durch Reflex an den Wänden der Fovea der kleine hufeisenförmige Reflex entsteht. Abgesehen davon, dass jener kleine stecknadelkopfgrosse Punkt als Ausdruck der Fovea gleichzeitig mit einem sichelförmigen Reflex überhaupt nicht existiert, ist es auch unrichtig, dass der kleine hufeisenförmige Reflex (Fovealreflex) von den Wänden der Fovea entworfen wird. Ich habe im Gegentheil gezeigt, dass das Licht, das an den Wänden der Fovea — darunter kann man doch nur den Clivus verstehen — regelmässig reflectiert wird, die Pupille überhaupt nicht verlässt, wie übrigens 2 Seiten später Vossius ganz richtig anführt. Ein Blick auf die meiner Arbeit (7) beigegebene Tafel zeigt die Richtigkeit meiner Angaben. Ich habe vielmehr unumstösslich bewiesen, dass der hufeisenförmige Reflex durch den kleinen Hohlspiegel der Foveola erzeugt wird. Vossius sagt ferner (l. c. Seite 74) dass der grosse glänzende Reflexring in der Gegend der Macula durch eine „muldenförmige Vertiefung der Retina an der Stelle der Macula" bedingt wird. Er unterscheidet also diese muldenförmige Vertiefung von der Fovea, in der der kleine hufeisenförmige Reflex entstehen soll. (Es muss nach Vossius' eigener Erklärung dieses Reflexes richtig heissen, der Reflex entsteht „in" der Fovea und nicht „um" die Fovea, wie er auf Seite 74 sagt.) Vossius hält eben offenbar trotz der von mir (7) beigebrachten anatomischen Befunde an den alten Anschauungen über die Grösse der Fovea fest. Ueber die Entstehung des „Reflexringes um die Macula" spricht sich Vossius folgendermaassen aus: „Ich möchte denselben für

Indem ich in Bezug auf die nähere Erklärung des Zustandekommens der Sichel- und Ringform auf meine bereits veröffentlichten Untersuchungen hinweise, sei hier nur erwähnt, dass die Grösse dieses Reflexes sehr grossen individuellen Schwankungen unterliegt, was eben mit dem sehr verschiedenen Krümmungshalbmesser des kleinen von der Foveola gebildeten Hohlspiegels zusammenhängt. Jedenfalls ist aber die Krümmung der Foveola stets eine recht starke, da der Durchmesser des Ringes oder des Kreises, zu dem man sich die Sichel ergänzt denken kann, nicht über eine gewisse Grösse hinaus geht. Ferner liegt dieser Reflex, wie es ja bei einem von einem Hohlspiegel gelieferten verkehrten Bilde der Fall sein muss, zwar immer vor der inneren Netzhautoberfläche, was man durch die parallactische Verschiebung nachweisen kann, doch ist dieser Abstand entsprechend der stets ziemlich starken Krümmung der Foveola nie sehr bedeutend, nie so stark, dass eine Refractionsdifferenz zwischen dem Reflex und den übrigen in nächster Nähe befindlichen Details des Augenhintergrundes vorhanden wäre.

Das constante Vorkommen dieses Reflexes in der Mitte der Fovea, der sich nur als ein verkehrtes Bild eines vor der Pupille liegenden Theiles des Augenspiegels, entworfen durch eine am Grunde der Fovea liegende, gegen den Glaskörper zu stark concave Fläche, erklären

abhängig erklären von der Tiefe der Netzhautgrube und der Steilheit ihrer Ränder, welche den Lichtreflex verursachen". Hier wird also der Ausdruck Netzhautgrube in anderem Sinne gebraucht als früher der Namen Fovea. Unter Netzhautgrube müsste man also jene „muldenförmige Vertiefung der Retina an Stelle der Macula" verstehen und unter Fovea eine weitere kleine Vertiefung in dieser muldenförmigen Vertiefung, eine Unterscheidung, die durch nichts begründet werden kann. Auch die weiteren Bemerkungen Vossius' über die Entstehung des sogenannten Macularreflexes sind ganz unrichtig, wie jedermann aus meiner Arbeit ersehen kann. Weiter sagt Vossius (Seite 74): „Innerhalb des Ringes sieht der Augenhintergrund immer abnorm dunkel aus" und erklärt dies durch die Verdünnung der Retina daselbst. Es ist wiederum falsch, wenn Vossius dann (S. 75) als meine Ansicht anführt, dass „der dunkelbraunrothe Fleck innerhalb dieses Ringes" nicht allein durch die Verdünnung der Retina, sondern auch dadurch entstehen soll, dass die äussere Faserschicht Henles unweit von dem Rande jener dunklen Stelle ihre grösste Dichte erreicht und dann rasch abnimmt. Er verwechselt hier die grosse dunkle Scheibe innerhalb des Macularreflexes mit dem kleinen dunklen Fleck in der Mitte der Fovea, der von ihm gar nicht erwähnt wird, wie dies zur Evidenz aus dem nächsten Satze hervorgeht: „Diese Erklärung scheint mir auch aus anatomischen Gründen nicht gerechtfertigt, vor allem, weil gerade in der Macula die äussere Faserschicht am dichtesten und mächtigsten ist, wie mir meine Präparate beweisen und auch aus der Abbildung von Dimmer erhellt".

lässt, würde uns das Recht geben, eine solche Fläche an dieser Stelle anzunehmen, auch wenn wir sie durch die anatomische Untersuchung nicht nachweisen könnten. Und zwar lässt sich sogar der Krümmungshalbmesser der betreffenden Fläche aus der Grösse des Reflexes annähernd berechnen. Ich fand denselben (7, p. 233) für eine besonders häufig vorkommende Grösse des Reflexes der Foveola gleich 0·3 *mm*.

In der That entsprach aber der Befund im anatomischen Präparat vollkommen den Erwartungen, welche man nach den ophthalmoskopischen Erscheinungen haben musste. Wenn die Foveola auch in den Schnitten sehr oft nicht in ihrer natürlichen Gestalt erhalten war, so liess sich doch ihre ursprüngliche Gestalt, mit Berücksichtigung der durch die Präparation an der äusseren Oberfläche der Retina entstandenen Concavität, leicht reconstruieren, wie ich dies oben auseinandergesetzt habe.

In nur ziemlich seltenen Fällen sieht man mit dem Augenspiegel statt eines regelmässigen sichelförmigen Reflexes einen kleinen hellen Punkt oder Fleck. Ferner erscheint manchmal neben dem gewöhnlichen Fovealreflex ein zweiter Reflex von unregelmässiger Gestalt, welcher, wie ich a. a. O. auseinandergesetzt habe, nur dadurch seine Erklärung findet, dass die innere Oberfläche der Retina, bevor sie sich zur Foveola einsenkt, eine leichte Convexität nach vorne zeigt, ähnlich wie am Rande der Fovea.

Fassen wir nun das zusammen, was wir nach der anatomischen und ophthalmoskopischen Untersuchung über die Grösse und Gestalt der Fovea aussagen können, so ergeben sich folgende Punkte:

1. Die Fovea ist eine meist querovale, oft aber auch kreisrunde Vertiefung, die gewöhnlich grösser, selten und dann nur etwas kleiner als die Papille ist.

2. Umgeben wird die Fovea von einer wallartigen Verdickung der Netzhaut, welche stets am nasalen Rande der Fovea bedeutender ist als am temporalen. Am nasalen Rande ist die Dicke der Retina 0·275—0·41 *mm*, am temporalen Rande 0·22—0·35 *mm* (ohne Pigmentepithel).

3. Die Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche vom Rande der Fovea gegen ihre Mitte erfolgt in Form einer schiefen Ebene, als sogenannter Clivus, unter dem Winkel von 15—25^0 an der nasalen Seite und unter einem noch etwas kleineren Winkel an der temporalen.

4. Nur in seltenen Fällen findet sich ein Fundus foveae, d. h. eine grössere (bis 0·7 *mm* im Durchmesser haltende) Stelle am Grunde der Fovea, welche nur schwach nach vorne concav gekrümmt ist und in welche der Clivus übergeht.

5. Die Foveola ist eine stark nach vorn concav gekrümmte Fläche von 0·12—0·3 Durchmesser an der tiefsten Stelle der Fovea. Da wo ein Fundus foveae vorhanden ist, liegt die Foveola in der Mitte desselben; fehlt, wie dies meistens der Fall ist, der Fundus foveae, dann geht der Clivus direct in die Foveola über.

6. In seltenen Fällen findet sich an der tiefsten Stelle der Fovea statt der Foveola eine unregelmässige, trichterförmige Einsenkung (punktförmiger Reflex) oder eine leicht nach vorn convexe Fläche am Rande einer in gewöhnlicher Weise gekrümmten Foveola.

7. Die Dicke der Netzhaut in der Mitte der Foveola, also an ihrer dünnsten Stelle beträgt 0·075—0·12 *mm*.

B. Verhalten der einzelnen Netzhautschichten.

Schon von H. Müller (9) wurde darauf hingewiesen, „dass in der Conformation der Grube und damit auch in der Anordnung der Netzhautelemente daselbst nicht unerhebliche individuelle Verschiedenheiten vorkommen, welche mit Entwicklungszuständen zusammenhängen mögen". Bezüglich des ersten Punktes, der Conformation der Grube hat diese Ansicht bereits in der oben angegebenen Auseinandersetzung ihre Bestätigung erfahren. Doch unterliegt auch in der That die Anordnung der Netzhautelemente vielfachen Schwankungen.

H. Müller hat angegeben, dass in der Fovea centralis die Nervenfaserschicht und die granulöse Schicht (innere reticuläre Schicht) vollständig verschwinden, während die anderen Schichten der Retina, wenn auch verdünnt, sich an der dünnsten Stelle der Netzhaut am Grunde der Fovea nachweisen lassen. Die Ganglienzellenschicht und die innere Körnerschicht confluieren am Grunde der Fovea zu einer dünnen Lage. Nach Max Schultze schwinden in der Fovea centralis alle Schichten ausser der Zapfenschicht und den sich zunächst anschliessenden Zapfenkörnern auf ein Minimum. Henle fand auch

die äussere granulierte Schicht am Grunde der Fovea nicht vor und dies wird auch von Merkel bestätigt. Hulke konnte an der dünnsten Stelle der Netzhaut keine äussere Körnerschicht nachweisen, während Wadsworth in seinen Präparaten das Fehlen der beiden granulierten Schichten, aber eine Dickenzunahme der äusseren Körnerschicht constatierte. Kuhnt gibt an, dass am Grunde der Fovea sämmtliche Schichten, welche von Schwalbe als Gehirnschicht zusammengefasst wurden, fehlen und daselbst nur die Neuroepithelschicht (Zapfenfaserschicht, äussere Körnerschicht, Limitans externa, Zapfenschicht) vorkommt.

Ich will nun genauer auf die einzelnen Netzhautschichten eingehen und meine Befunde mit denen früherer Untersucher vergleichen.

a) Gehirnschicht.

1. Der Margo limitans retinae.

Tafel, Fig. 1 und 2, 1.

Bekanntlich hat man früher stets die Hyaloidea zur Retina gerechnet und beide zusammen wurden auch als Membrana limitans beschrieben. M. Schultze lässt zuerst die Membrana limitans durch Verschmelzung der Radialfaserkegel entstehen, eine Ansicht, die durch die Untersuchungen von Schelske weiter gestützt wurde. Henle nahm nur eine Membran zwischen Glaskörper und Retina an, die Membrana limitans hyaloidea, während nach Iwanoff und Herzog Carl die Hyaloidea zur Retina gehört. Schwalbe dagegen bezeichnet die durch Aneinanderschliessen der Basalflächen der Radialfaserkegel entstehende Grenzschichte der Netzhaut, welche durch cuticulare Verdickung der inneren Basalflächen doppelt contouriert erscheint, als Margo limitans. An der Innenfläche dieses Margo limitans liegt dann die den Glaskörper nach aussen begrenzende Membrana hyaloidea.

Bezüglich des Verhaltens der Membrana limitans in der Gegend der Macula sagt Merkel (3), dass sich dieselbe im Bereiche der Macula verdickt, so dass sie daselbst eine Dicke von 3 μ erreicht, in welcher Stärke sie die ganze Macula überzieht, um sich vom Rande der Fovea an wieder allmählich zu verdünnen. Sehr von einander abweichende Angaben finden sich dagegen bei M. Schultze (12) und bei Schwalbe (13). Nach Max Schultze fehlen zwar im Bereiche der Macula dickere Radialfaserenden, welche sich zu einer Limitans interna

vereinen würden, doch durchaus nicht die Limitans interna, welche „vielmehr als besondere Haut leicht abziehbar und sehr resistent“ ist. Schwalbe aber gibt an, dass im Bereiche der Macula lutea mit den Radialfaserkegeln auch die Limitans fehlt. Was von Merkel und Schultze als solche beschrieben wird, ist nach Schwalbe nichts weiter wie die Hyaloidea, welche hier selbstverständlich sehr leicht auf der Netzhaut zurückbleibt. Merkels Angaben, dass sie hier dicker wie in anderen Orten ist, sei darauf zurückzuführen, dass sich an dieser Stelle mehr Glaskörpersubstanz mit der Hyaloidea ablöst, welche an erhärteten Präparaten sich dann wie eine Verdickung der Glaskörpermembran ausnimmt. Schaper (11) kommt dagegen neuerdings auf die Angaben Merkels zurück und bestätigt dieselben.

Von M. Schultze sowohl als von Schwalbe wird übereinstimmend erwähnt, dass im Bereiche der Macula keine Radialfaserkegel vorkommen. Kuhnt (14) bezeichnet es als eine „Besonderheit der Gegend der Macula, dass in derselben die Radialfasern proportional der Annäherung an die Fovea immer dichter, aber zugleich auch dünner und schräg gestellt erscheinen“. Die neuesten Untersuchungen des Stützgewebes der menschlichen Retina, welche von Dogiel (15) mittels der Färbungsmethoden von Wolters und nach dem von Ramon y Cajal veränderten Golgi'schen Verfahren angestellt wurden, haben aber ergeben, dass die Müller'schen Fasern in der Gegend des gelben Fleckes sehr reichlich entwickelt sind und deutlicher hervortreten als in anderen Theilen der Netzhaut. Sie bilden in der inneren und äusseren gangliösen Schicht eine grössere Zahl von Plättchen und spalten sich an ihrem inneren Ende in verschiedener Entfernung von der Limitans interna in 2 bis 3 Fasern, welche sich dann mit kleinen Verdickungen zur Limitans interna zusammenschliessen.

Auch ich kann, soweit dies durch einfache Schnittpräparate und ohne bestimmte Färbungsmethoden möglich ist, dieses Verhalten der Stützfasern constatieren. Jedenfalls kann ich aber behaupten, dass auch hier eine Membrana limitans interna existiert, welche durch Verschmelzen der inneren Enden der Radiärfasern gebildet wird, und also am besten mit Schwalbe als Margo limitans retinae zu bezeichnen ist. Diesem Margo limitans liegt nach innen zu die Hyaloidea auf. Sie erwies sich als eine an den Präparaten, die in Flemming'scher Lösung gehärtet waren, mit Safranin ziemlich stark gefärbte, homogene Membran,

von an verschiedenen Stellen wechselnder Stärke. Sie haftet der inneren Oberfläche der Retina, dem Margo limitans an vielen Stellen der Schnitte dicht an, an anderen Stellen ist sie davon auf kürzere oder längere Strecken abgelöst, so dass beide sich mit vollständiger Deutlichkeit und Sicherheit unterscheiden lassen. Meist ist sie dort, wo sie von der Retina abgelöst ist, an ihrer äusseren, der Netzhaut zugekehrten Fläche ganz glatt ohne Reste von Verbindungen mit der Retina. Nur sehr selten sieht man ihr an solchen Stellen feine Fäden anhängen. Dann ist aber auch die innere Oberfläche der Retina daselbst nicht durch einen deutlichen Margo limitans abgegrenzt und man kann ganz deutlich wahrnehmen, dass hier die Hyaloidea mit dem Margo limitans fester verbunden war und dass, als sich erstere von der Netzhaut ablöste, einzelne Radialfaserenden an ihr haften blieben. An dem Rande der Fovea war die Hyaloidea allerdings meist dicker als am Grunde der Fovea.

2. *Die Nervenfaserschicht.*

Tafel. Fig. 1 und 2, 2.

Bekanntlich gehen alle älteren Angaben dahin, dass die Nervenfaserschicht der Retina im Bereiche der Fovea als eine zusammenhängende Lage fehlt. H. Müller (9) fand, indem er die Retina mit mässiger Vergrösserung von der Fläche betrachtete, dass das von den Nerven herrührende streifige Aussehen auf der Seite der Eintrittsstelle des Sehnerven in einer Entfernung von 0·25 *mm* von der Mitte der Fovea, auf der entgegengesetzten Seite bei 0·35 *mm*, nach abwärts und aufwärts bei 0·18 *mm* verschwand. Er fügt hinzu: „Mit diesen Angaben stimmt das, was ich auf senkrechten Schnitten gesehen habe, ziemlich überein. In der Linie gerade auswärts vom gelben Flecke ist auch weiterhin nirgends eine stärkere Schicht von Nervenfasern zu finden, vermöge des geschilderten Verlaufes derselben". Henle (10) erscheint es zweifelhaft, ob diese Lage an irgend einer Stelle ganz fehle. Kuhnt (5) fand, dass die Nervenfaserschicht in circa 0·4 *mm* vom Centrum der Fovea aufhört als eine distincte Schicht zu imponieren. Dogiel (16) hat dagegen unlängst mittels der Ehrlich-schen Methylenblaufärbung nachgewiesen, dass auch am Grunde der Fovea sich noch Nervenfasern vorfinden. Er beschreibt die Verhältnisse folgendermaassen: „Im Gebiete des gelben Fleckes zerfallen sämmtliche Nervenfaserbündel, nicht selten fächerförmig, in einzelne Faserbündel.

Die einen von ihnen lösen sich in feine Fasern auf, welche hier im Bereiche des gelben Fleckes der Beobachtung entschwinden, während andere den Rand der Fovea erreichen und sie ringförmig umgeben. Von diesem Nervenringe und von anderen an dessen Bildung nicht betheiligten Nervenfaserbündeln gehen sehr feine Aestchen ab, welche in schräger Richtung allmählich zum Grunde der Fovea hinabsteigen und durch gegenseitige Verflechtung schliesslich einen an den Seitenwänden und an dem Grunde der Fovea gelegenen breitmaschigen Plexus bilden".

An meinen Präparaten konnte ich diesen Plexus nicht sehen, da es nicht gelingt denselben an senkrechten Netzhautschnitten und ohne besondere Färbungsmethoden nachzuweisen, wie dies auch ein Blick auf die sehr schöne von Dogiel gegebene Abbildung eines mit Methylenblau gefärbten Flächenpräparates zeigt. Die Nervenfaserschicht zeigte sich an meinen Schnitten, wie dies auch Schaper erwähnt, stets an der Nasenseite der Fovea dicker als an der Schläfenseite. Sie hörte in der Entfernung von 0·4—0·7 *mm* von der Mitte der Fovea auf; war also stets über die dickste Stelle der Retina am Rande der Fovea hinüber zu verfolgen.

An einigen Präparaten fand sich zwischen Margo limitans und Nervenfaserschichte jener von Henle und Merkel (17) als Lymphraum gedeutete, von Boll (18), sowie von Schwalbe (13) als Kunstproduct erklärte Zwischenraum, der von den Müller'schen Radiärfasern durchzogen wird. Derselbe wird übrigens neuerdings wieder von Kuhnt (14) erwähnt.

3. *Ganglienzellenschicht.*

Ganglion nervi optici, innere gangliöse Schicht (Henle).

Tafel, Fig 1 und 2, 3.

Diese Schichte erfährt bekanntlich in der Gegend der Macula eine sehr erhebliche Verdickung. H. Müller (9) nimmt als das durchschnittliche Maass etwa 8 Reihen von Zellen und eine Dicke der Schichte von 0·06—0·08 *mm* für die dickste Stelle an. In der Fovea nimmt dann wieder die Zahl der Ganglienzellen allmählich ab. Während aber alle Autoren über diese Verdickung der Ganglienzellenschicht in der Maculagegend einig sind, finden wir in ihren Angaben über das Verhalten der Ganglienzellenschicht am Grunde der Fovea

eine sehr bedeutende Divergenz. H. Müller sah in einem wohlerhaltenen Auge noch etwa 3 Reihen von Zellen am Grunde der Fovea übereinander liegen. Henle lässt die Ganglienzellenschicht mit der Körnerschicht zuerst unter sich und dann auch mit der äusseren Körnerschicht „zu einer Körnerlage von 0·08 *mm* Mächtigkeit" zusammenfliessen. Merkel (3) beschreibt bloss ein Zusammenfliessen der Ganglienzellenschicht und (inneren) Körnerschicht. Nach Wadsworth (4) bilden die Ganglienzellenschicht und die Körnerschicht zusammen eine Lage von 0·025 Dicke im Centrum der Fovea. Kuhnt (5) hat gefunden, dass die sämmtlichen Schichten der Netzhaut mit Ausnahme der Neuroepithelschicht am Grunde der Fovea verschwinden. Neuerdings hat aber wieder Schaper (11) sich den Angaben Henles vollständig angeschlossen.

In den von mir untersuchten Netzhäuten war das Zusammenfliessen der Ganglienzellenschicht mit der (inneren) Körnerschicht fast durchwegs wahrnehmbar. Nur in einem Falle restierte ein allerdings nur minimaler Streifen der inneren reticulären Schicht zwischen den beiden gangliösen Schichten. Dagegen konnte ich in zwei Fällen constatieren, dass die Ganglienzellenschicht ebenso wie die innere Körnerschicht am Grunde der Fovea vollständig fehlten. Die Ganglienzellenschicht verschwand in einem dieser Fälle 0·075 *mm* von der Mitte der Fovea, im anderen Falle betrug diese Distanz sogar 0·35 *mm*. Constant war die Ganglienzellenschicht am Rande der Fovea am dicksten, und immer dicker am nasalen Rande der Fovea als am temporalen Rande derselben, sie maass 57—85 μ am nasalen Rande und 45—75 μ am temporalen Rande. Sie verdünnt sich dann allmählich und ausser in den zwei soeben erwähnten Fällen, fanden sich Elemente der Ganglienzellenschicht auch am Grunde der Fovea, ja ganz in der Mitte derselben vor. Meist liegen sie nur vereinzelt, durch grössere Zwischenräume getrennt, können aber auch eine vollständige einreihige Schicht bilden.

Am Rande der Fovea liegen, so wie dies auch von H. Müller beschrieben wurde, gewöhnlich 6—8 Ganglienzellen übereinander. Sie haben hier fast durchwegs Birnform, das dickere Ende, in welchem sich gewöhnlich der Kern befindet, nach innen gekehrt (Merkel). Am äusseren Rande der Ganglienzellenschicht fand ich fast stets spärliche Elemente, welche nach Aussehen und Färbung den sogenannten Spongioblasten zugezählt werden mussten.

Nur in einem Falle zeigte die Ganglienzellenschicht ein ganz auffallendes Verhalten. Ein rechteckiges Stück der Retina, welches ungefähr in seiner Mitte die Fovea enthielt, war so herausgeschnitten worden, dass die längere, 3 *mm* messende Seite des Rechteckes horizontal verlief. Die ersten von diesem Netzhautstücke angefertigten horizontalen Schnitte zeigten zunächst in ihrer ganzen Ausdehnung eine deutliche Verdickung der Ganglienzellenschicht. Es liegen hier am nasalen Ende des Schnittes 2—3 Zellen übereinander und gegen das temporale Ende wird die Schicht allmählich dicker, so dass dort 3—4 Zellen aufeinander geschichtet sind. An weiteren Schnitten, welche aber noch immer nicht durch die Fovea giengen, enthielt die Ganglienzellenschicht in der nasalen Hälfte der Schnitte im ganzen nur eine einzige Lage von Ganglienzellen. Nur hie und da lagen noch eine zweite oder dritte Ganglienzelle hinter dieser einfachen Schicht. Gegen das temporale Ende des Schnittes verdickt sich die Ganglienzellenschichte allmählich und zeigt hier eine 3—4fache Zellenlage. Durch Zählung der Schnitte, welche in bekannter Dicke in lückenloser Reihenfolge angelegt wurden, lässt sich ermitteln, dass der erste Schnitt, an welchem sich dieses Verhältnis zeigt, in senkrechter Richtung ungefähr 0·9 *mm* von einem durch die Mitte der Fovea gehenden Schnitt entfernt ist. Schnitte endlich, welche bereits die Fovea enthalten, lassen erkennen, dass die Ganglienzellenschicht nasalwärts von der Fovea und auch am nasalen Rande der Fovea nur eine Lage von Zellen aufweist und sich hier so verhält, wie schon früher an der temporalen Hälfte der der Fovea zunächst gelegenen Schnitte. Diese einfache Lage von Ganglienzellen lässt sich über den nasalen Clivus bis zum Grunde der Fovea hinab verfolgen. Hier finden sich noch einzelne Ganglienzellen, dann verdickt sich die Schichte am temporalen Clivus sehr rasch und am temporalen Rande der Fovea liegen schon bis 5 Ganglienzellen übereinander. Fast in derselben Dicke verblieb dann die Schichte bis zum Ende des Schnittes.

Bekanntlich sind die Nervenfaserbündel, welche von der Papille in horizontaler Richtung direct nach der Macula hinziehen, bedeutend dünner, als jene, die nach anderen Richtungen von der Papille ausstrahlen, so dass sie sich nebeneinander liegend ausbreiten; ja manchmal lassen sie selbst schmale Zwischenräume zwischen sich (Michel 19).

Es liegt, glaube ich, nahe, das besondere Verhalten der Ganglienzellenschichte in dem einen erwähnten Falle damit in Zusammenhang zu bringen, dass die Nervenfaserschicht zwischen Macula und Papille in diesem Auge ganz besonders dünn war und infolge dessen auch die Ganglienzellenschicht am nasalen Rande der Fovea weniger mächtig entwickelt war. Doch konnte ich nicht nachweisen, dass die Nervenfaserschichte am nasalen Ende der durch die Fovea gehenden horizontalen Schnitte im Vergleiche mit den Verhältnissen an anderen Netzhäuten deutlich dünner gewesen wäre. Immer kann man an Horizontalschnitten sehen, dass die Nervenfaserschichte in der nasalwärts gelegenen Hälfte der Schnitte dann bedeutend dünner ist, wenn die Schnitte ziemlich genau durch die Mitte der Fovea gehen, als wenn sie nahe dem Rande der Fovea liegen, sei es dass sie dieselbe noch enthalten oder nicht, trotzdem dass Horizontalschnitte eines viereckigen, die Fovea enthaltenden Netzhautstückes, welche durch die Mitte der Fovea gehen, an ihrem nasalen Ende der Papille näher liegen müssen, als Horizontalschnitte, welche ober- oder unterhalb der Mitte der Fovea gefallen sind.

H. Müller hat bereits angegeben, dass die Verdickung der Ganglienzellenschicht nach und nach auftritt, so dass sie auch nicht als Grenzmarke für den gelben Fleck verwendet werden kann. Die Strecke, in welcher mehr als eine Reihe von Ganglienzellen liegt, hat mehrere Millimeter im Durchmesser. Sie reicht nach H. Müller bis nahe an die Eintrittsstelle des Sehnerven, ohne sie ganz zu erreichen.

In allen von mir untersuchten Augen ergab sich, dass die Ganglienzellenschicht noch in einem grossen Umkreise um die Macula verdickt ist. Es liess sich dies besonders an solchen Schnitten nachweisen, wo die Papille und die Macula gleichzeitig im Schnitte vorlag und die Schnitte so lang waren, dass man auch noch ein grösseres Stück der Retina temporalwärts von der Fovea vor sich hatte. Ich konnte solche Präparate von 2 Augen untersuchen. Bereits am temporalen Rande der Papille ist die Ganglienzellenschichte dicker als am nasalen. An ersterem zeigt sich schon eine vollkommen doppelte Reihe von Ganglienzellen oder es liegen wenigstens mehrfach 2 Zellen übereinander. Noch in einem Abstande von 3 *mm* temporalwärts von der Mitte der Fovea war die Ganglienzellenschichte deutlich verdickt.

4. *Die innere reticuläre Schicht.*

Granulöse Schicht (H. Müller), innere granulierte Schicht (Henle), Neurospongium (W. Müller), innere plexiforme Schicht (R. y Cajal).

Tafel, Fig. 1 und 2, 4.

Wie schon aus den vorstehenden Auseinandersetzungen über die Ganglienzellenschicht hervorgeht, muss zufolge des von den meisten Autoren beschriebenen Zusammenfliessens der beiden gangliösen Schichten die innere reticuläre Schicht am Grunde der Fovea fehlen. Nur bei M. Schultze (12) heisst es, dass in der Fovea alle Schichten der Netzhaut, mit Ausnahme derjenigen der Zapfen und der äusseren Körner bis auf ein Minimum schwinden. Und so stellt es auch M. Schultzes Abbildung dar. Nach Kuhnt (5) verschwindet zwar die innere reticuläre Schicht, indem sie sich allmählich verdünnt, am Grunde der Fovea, trennt aber die beiden gangliösen Schichten bis zuletzt von einander. H. Müller bemerkt, dass die innere reticuläre Schicht am Rande des gelben Fleckes oft etwas dicker als sonst gefunden wird, jedoch in geringem Grade, wohl nie über 0·045 *mm*. Schwalbe (6) beschreibt das Verhalten der Netzhautschichten in der Fovea nach einem Präparate Kuhnts in der Weise, dass die innere und äussere reticuläre Schicht im Gebiete der Macula nur eine geringe Dickenzunahme zeigen und am Grunde der Fovea auf ein Minimum reduciert, in eine minimale Schicht fein reticulierter Substanz von 1 μ Dicke übergehen. Schwalbe gibt auch eine entsprechende nach einem Präparate Kuhnts gezeichnete Abbildung.

Ich fand am Grunde der Fovea niemals eine innere reticuläre Schichte. Sie verschwand in einem Abstande von 0·075—0·3 *mm* von der Mitte der Fovea gänzlich und nur in einem Falle reichte diese Schichte bis zur Limitans interna, indem sie als äusserst zarter Streifen die beiden gangliösen Schichten von einander trennte. Eine Verdickung der inneren reticulären Schicht in der Gegend der dicksten Stelle der Retina am Rande der Fovea konnte ich nicht constatieren. Ja im Gegentheile, in drei Augen war die innere reticuläre Schicht am Rande der Fovea bereits etwas dünner als in der Umgebung. Im allgemeinen misst die innere reticuläre Schicht am Rande der Fovea 23—36 μ und erscheint entsprechend dem temporalen Rande der Fovea nicht deutlich dünner als am nasalen.

In den 3 erwähnten Netzhäuten war sie in der Entfernung von etwa 1·6—2·0 *mm* von der Mitte der Fovea um 4—10 μ dicker als am Rande der Fovea.

In der inneren reticulären Schicht finden sich vereinzelte Elemente der Ganglienzellenschicht sowie Zellen, welche man als sogenannte Spongioblasten betrachten muss. Solche zellige Einlagerungen in die innere reticuläre Schicht kommen, wie mich der Vergleich mit anderen Netzhautschnitten desselben Auges, von dem die betreffende Macula geschnitten worden war, gelehrt hat, in der Gegend der Macula in grösserer Zahl vor, als sonst im Hintergrunde des Auges. Diese Zellen liegen an Präparaten, die in Flemming'scher Lösung fixiert worden waren, in sehr scharf begrenzten rundlichen oder ovalen Hohlräumen, welche aber an Präparaten aus Salpetersäure oder Sublimat nicht wahrnehmbar waren. Es handelt sich hier um jene Hohlräume, welche Boll (18) als Kunstproducte bezeichnet hat.

5. *Die äussere gangliöse Schicht (Henle).*

Innere Körnerschicht.

Tafel, Fig. 1 und 2, 5.

Wir wollen zunächst davon absehen, dass in dieser Schichte verschiedene Elemente unterschieden werden, und sie als ein Ganzes betrachten.

Es war bereits davon die Rede, dass auch diese Schichte in 2 Fällen im Grunde der Fovea als zusammenhängende Schichte vollständig fehlte, nur hie und da fand sich ein vereinzeltes Korn in einer fein reticulierten Substanz, welche die Zapfenfaserlage am Grunde der Fovea bedeckte. In allen anderen der untersuchten Netzhäute war die Körnerschichte auch am Grunde der Fovea nachweisbar, doch nur als einfache Lage von Körnern, welche überdies sehr oft nicht knapp nebeneinander lagen, sondern durch grössere Zwischenräume oder dazwischen eingeschobene Ganglienzellen der Ganglienzellenschicht voneinander getrennt sind. Die letzteren sind besonders an den Präparaten aus Flemming'scher Lösung durch den grossen hellen sehr schwach tingierten Kern mit dem kräftig gefärbten Kernkörperchen leicht von den inneren Körnern zu unterscheiden. Diese haben einen kleineren Kern mit stärkerer Entwicklung der chromatischen Substanz und erscheinen daher dunkler gefärbt.

Die äussere gangliöse Schicht zeigt am Rande der Fovea eine sehr deutliche Verdickung. Während sie in der Umgebung der Papille 30—36 μ misst und bis 5 übereinander geschichtete Zellen enthält, misst sie am Rande der Fovea 60—70 μ und zeigt 8—10 Lagen von Zellen. Gewöhnlich ist sie am temporalen Rande der Fovea etwas dünner als am nasalen.

Bekanntlich hat man in der inneren Körnerschicht verschiedene Elemente unterschieden (Vintschgau).

W. Müller (20) hat eine innere an die innere reticuläre Schicht angrenzende Lage von grossen Zellen, welche sich mit Farbstoffen stärker färbt und nur einen Fortsatz, u. zw. in die innere reticuläre Schicht ausschickt, als Spongioblasten beschrieben, indem er sie als die Bildungszellen der inneren reticulären Schicht ansah. Die bipolaren inneren Körner bezeichnet W. Müller als die Zellen des Ganglion retinae. Ausserdem finden sich in der inneren Körnerschicht auch die Kerne der Müller'schen Radiärfasern. Ueber die nervöse Natur der inneren Körner hat nie ein Zweifel bestanden, die Spongioblasten aber werden von Müller als Zellen der Stützsubstanz angesehen, welche Ansicht auch Kuhnt vertritt, während Dogiel ebenso wie Tartuferi an der nervösen Natur dieser Gebilde festhalten. Dogiel (21) hat dann in der inneren Körnerschicht des Menschen multipolare Zellen gefunden, welche an die äussere reticuläre Schicht angrenzen. Sie liegen zu $^1/_3$ in der äusseren reticulären Schicht (von Dogiel im Anschlusse an W. Müller Schicht der Nervenansätze genannt) und zu $^2/_3$ in der inneren Körnerschicht und werden an Querschnitten der Retina von glänzenden horizontalen Linien geschnitten. Der Kern der Zelle liegt meist nach innen von dieser Linie, welche nach Dogiel dadurch gebildet wird, dass die Zellen platte Fortsätze in horizontaler Richtung entsenden, welche im Profil gesehen, als Linien erscheinen. Dadurch entsteht eine Reihe von kurzen Linien, welche an die von Merkel am äusseren Rande der äusseren reticulären Schicht beschriebenen Linien erinnern, von denen weiter unten die Rede sein wird. In der Gegend der Macula fehlen diese multipolaren Zellen, wie Dogiel angibt, ganz, oder sind sehr spärlich. Dogiel lässt zunächst die Frage offen, ob es sich hier um nervöse Elemente handelt oder ob dies jene bei Thieren von W. Müller gefundenen sogenannten tangentialen Fulcrumzellen sind. Auch Schwalbe und Krause (13) hatten schon früher ähnliche Zellen von

der menschlichen Retina beschrieben, und für nervöse Elemente erklärt. Schiefferdecker (22) fand dann in der Netzhaut von Säugethieren ebenfalls analoge Zellen, u. zw. kernhaltige und kernlose, welche er als dem Stützgewebe der Netzhaut angehörig auffasst und concentrische Stützzellen im Gegensatze zu den radiären Stützzellen (Radialfasern) nennt. Auch Kuhnt (14) beschreibt diese Zellen aus der Netzhaut des Menschen.

Nach Tartuferi (23) setzt sich die innere Körnerschicht (oder der zellige Theil der ersten Hirnschicht, nach Tartuferi) zusammen aus grossen oberflächlichen Zellen, welche der äusseren reticulären Schicht unmittelbar anliegen und hauptsächlich horizontale Fortsätze aussenden, welche das subepitheliale Netz in der äusseren reticulären Schicht bilden, aus Zellen von mittlerer Grösse oder sternförmigen Zellen, welche ebenfalls in ähnlicher Weise sich verästeln, endlich aus den Spongioblasten, welche aber Tartuferi als nervöse Zellen erklärt und von denen er 3 Formen nach dem Verlaufe und der Art ihrer Fortsätze unterscheidet.

Dogiel (24) hat später die Resultate seiner Untersuchungen der Netzhaut mittels der Ehrlich'schen Methylenblaufärbung mitgetheilt. Er unterscheidet in der inneren Körnerschicht zwei Gruppen von Zellen. Zu der ersten Gruppe (dem Ganglion retinae) gehören Zellen, deren Fortsätze hauptsächlich in den äusseren Schichten (Neuroepithelschicht und äussere reticuläre Schicht) und nur zum kleineren Theile in den inneren Netzhautschichten sich befinden. Die zweite Gruppe von Zellen bilden jene, deren Fortsätze nur in der inneren reticulären Schicht liegen. Die erste Gruppe enthält die grossen und die kleinen sternförmigen Zellen, welche eine einfache Lage an der äusseren reticulären Schicht bilden und die bipolaren Zellen (die inneren Körner), welche in verschiedener Entfernung von der äusseren reticulären Schicht liegen. Die grossen und die kleinen sternförmigen Zellen zeigen oft die schon früher von Dogiel beschriebenen Streifen, welche er als Leistchen an der Zellenoberfläche erklärt. Die Schichte der Müller'schen Spongioblasten wird von Dogiel die mittlere gangliöse Schicht genannt. Dogiel unterscheidet in dieser Schicht, deren Zellen alle nebeneinander in einer Reihe an der inneren Grenze der sogenannten inneren Körnerschicht liegen, zwei Untergruppen. Die erste Untergruppe enthält Zellen, welche nur protoplasmatische Fortsätze in der inneren reticulären Schicht hat, die Zellen der zweiten Untergruppe aber

Zellen, welche auch einen Achsencylinderfortsatz in die Nervenfaserschicht entsenden. Zu der ersten Untergruppe gehören die grossen Nervenzellen und die kleinen Nervenzellen, die Fortsätze der Zellen der zweiten Untergruppe bilden mit den Fortsätzen von Nervenzellen der inneren gangliösen Schicht drei verschiedene Plexus in der inneren reticulären Schicht, von denen der eine an der inneren Fläche, der andere an der äusseren Fläche dieser Schicht liegt, während der dritte an der Grenze zwischen innerem und mittlerem Drittel sich ausbreitet.

Im wesentlichen übereinstimmend, schildert auch Ramon y Cajal (25) den Bau der inneren Körnerschicht.

In neuester Zeit endlich hat Kallius (26) die Spongioblasten als parareticuläre Zellen bezeichnet.

Es war mir natürlich nach der ganzen Art meiner Untersuchung nicht möglich, diese einzelnen Zellarten, wie sie in vorstehender kurzer Uebersicht geschildert wurden, zu unterscheiden. Die Erkennung derselben beruht ja hauptsächlich auf der Beobachtung des Verlaufes und der Verästelung der Zellfortsätze, was an blossen senkrechten Durchschnitten und ohne besondere Färbemethoden nicht möglich ist. Immerhin will ich mittheilen, was für Unterschiede in Form, Grösse, Gestalt und Aussehen an den einzelnen Zellen der äusseren gangliösen Schicht wahrnehmbar waren.

Die Präparate verhielten sich in dieser Hinsicht wesentlich verschieden je nach der Art, wie sie gehärtet oder gefärbt worden waren. An einer sehr frischen Retina, welche in Sublimat gehärtet und dann mit Haematoxylin-Eosin gefärbt worden war, liess sich kein Unterschied zwischen den einzelnen Zellen der inneren Körnerschicht, weder in der Färbung noch in der Gestalt nachweisen. Eine ebenfalls sehr frische Netzhaut, die in Salpetersäure fixiert und dann mit Alauncarmin-Ammoniakcarmin gefärbt worden war, zeigte sowohl an der äusseren als an der inneren Begrenzung der Schicht eine fast vollständige Reihe von stärker gefärbten Elementen, die aber in ihrer Gestalt und Grösse nicht deutlich von den übrigen Elementen der Körnerschicht abwichen (Tafel, Fig. 1). Diese Zellen liessen sich gegen den Grund der Fovea hin nicht ganz so weit verfolgen als die übrigen weniger gefärbten Bestandtheile der inneren Körnerschicht. (Es war dies jener Fall, in welchem ein grosser Fundus foveae vorhanden war und wo die inneren Netzhautschichten (Gehirnschicht) am Grunde der Fovea ganz fehlten.)

Anders differenzierten sich die inneren Körner in jenen Präparaten, die in Flemming'scher Lösung gehärtet und mit Safranin oder mittels der Benda'schen Hämatoxylinfärbung tingiert waren. Hier zeigten sich am inneren Rande der inneren Körnerschicht, anstossend an die innere reticuläre Schicht Zellen mit rundem, ganz homogen aussehendem Kern und äusserst wenig Protoplasma, so wenig, dass sie vielfach nur als Kerne erschienen, welche aber durchaus das Färbemittel stärker angenommen hatten (siehe Taf. Fig. 2). Diese Kerne waren durchschnittlich kleiner als jene der übrigen Elemente der inneren Körnerschicht und massen 3·4—4·5 μ, während der Durchmesser der übrigen inneren Körner bis 7 μ betrug. Besonders deutlich sind die Kerne dieser Zellen von jenen der übrigen Körner, wenn sie mit Safranin gefärbt sind, bei etwas höherer Einstellung des Mikroskopes zu unterscheiden, dann wenn bereits die Zellcontouren zu verschwimmen anfangen. Unter diesen Umständen erscheint die mittlere Partie des Zellkernes hell rubinroth, von starkem Glanze, während die Seitentheile als dunkler rother Ring sich darstellen. Dadurch machen die Kerne einen wirklich plastischen, kugeligen Eindruck. Bei jener Einstellung, wo die Grenzen des Zellkernes scharf sichtbar sind, ist derselbe eine ganz gleichmässig gefärbte Scheibe, ungefähr von derselben dunkelrothen Farbe, wie sie früher nur die Randtheile des Kernes zeigten. Es beruht jenes Aussehen der Kerne bei etwas höherer Einstellung jedenfalls auf ihrer homogenen Beschaffenheit, so dass sie wie Convexlinsen wirken.

Diese Zellen fanden sich auch an den Schnitten der Netzhaut aus der Umgebung der Papille vor, doch nicht in so grosser Menge. Stets waren hier zwei einander zunächstliegende Zellen dieser Art durch einige Zellen vom Aussehen der übrigen inneren Körner oder durch etwas grössere Zellen als diese voneinander getrennt. In der Umgebung der Fovea nahm die Zahl der in Rede stehenden Zellen aber bedeutend zu und in manchen Augen bildeten sie besonders gegen den Rand der Fovea zu eine continuierliche Schicht, ja manchmal lagen daselbst 2—3 solcher Zellen übereinander. Alle diese Zellen befinden sich am inneren Rande der äusseren gangliösen Schicht und nur sehr selten liegt eine einzelne Zelle in den tieferen Lagen derselben. Stets werden diese Zellen gegen die Mitte der Fovea zu spärlicher und fehlen immer am Grunde derselben.

Von gleichem Aussehen wie die soeben beschriebenen Zellen waren auch jene, welche in der Ganglienzellenschicht und in der inneren reticulären Schicht als Spongioblasten erwähnt wurden.

Es verdient Erwähnung, dass dieselben endlich in dem einen jener zwei Fälle, bei welchen die innersten Netzhautschichten (Nervenfaserschicht und Ganglienzellenschicht) atrophisch waren, in voller Deutlichkeit und unverminderter Zahl sichtbar waren. (Es war diese Retina in Flemming'scher Lösung gehärtet worden, während die Retina des zweiten Falles in $3^1/_2\%$ Salpetersäurelösung fixiert war.)

Im gleichen Niveau mit diesen Zellen, ebenfalls angrenzend an die innere reticuläre Schicht und eingestreut zwischen dieselben kamen Zellen vor, die ebenso gross oder manchmal deutlich grösser waren als die übrigen inneren Körner und sich in ihrem Aussehen und in ihrer Färbung gar nicht von diesen unterschieden, ferner in sehr geringer Zahl Zellen von dem Aussehen und der Grösse der Ganglienzellen der Ganglienzellenschicht, in denen der Kern aber an ihrem äusseren gegen die Stäbchenzapfenschichte gerichteten Ende lag, sich in dieser Beziehung also gerade umgekehrt verhielt als jener der Zellen der Ganglienzellenschicht im Bereiche der Macula (siehe Tafel, Fig. 2).

Dogiel beschreibt in einer seiner früheren Arbeiten (21) das Aussehen der Spongioblasten ganz entsprechend jenem, wie ich es oben von den kleineren Zellen erwähnt habe. Er gibt an, dass der Kern nach Behandlung mit Osmiumsäure ganz homogen oder leicht feinkörnig erscheint und den grössten Theil der Zelle erfüllt. Später unterscheidet Dogiel, wie oben erwähnt, zwei Untergruppen der Spongioblasten, von denen die erste — die grossen und die kleinen Nervenzellen enthaltende — die Hauptmasse dieser Spongioblastenschicht (mittleren gangliösen Schicht) ausmacht, während die Zellen der zweiten Untergruppe eigentlich dem Ganglion nervi optici angehören und nur weiter nach aussen vorgerückt sind, ähnlich wie die subepithelialen Nervenzellen weiter nach aussen gelagerte Zellen des Ganglion retinae sind. Zu dieser zweiten Untergruppe gehören wohl jene grossen Zellen vom Aussehen der Zellen des Ganglion nervi optici, deren Kern nach aussen gelagert ist, wodurch angezeigt ist, dass die Fortsätze dieser Zellen hauptsächlich in entgegengesetzter Richtung verlaufen als jene der Zellen des Ganglion optici, deren Kerne in der Macula lutea an dem dem Glaskörper zugekehrten Ende

der Ganglienzellen liegen. Jene kleinen Zellen mit dem homogenen, stark gefärbten Kern dürften aber wohl mit den kleinen Nervenzellen Dogiels identisch sein.

Die Vermehrung der Spongioblasten im Bereiche der Macula, wird auch von R. y Cajal (25) angegeben. Dieser Forscher vermuthet dass die Spongioblasten die von den Opticuscentren kommenden Reize auf die Ganglienzellen übertragen, da sie die einzigen Elemente sind, welche die Verzweigungen der centrifugalen Fasern in sich aufnehmen. Dass sie, trotzdem, dass ihre Fortsätze sich ebenso wie die der Ganglienzellen in der inneren reticulären Schicht verzweigen, eine andere Function haben, als die Ganglienzellen, darauf scheint mir auch der oben erwähnte Befund hinzudeuten, dass sie in einer Retina, in der die Ganglienzellenschicht atrophisch war, ganz unverändert sichtbar waren.

Von Zellen an der äusseren Grenze der inneren Körnerschicht, welche jene glänzenden horizontalen Linien tragen (multipolaren Zellen, grosse und kleine sternförmige Zellen Dogiels), konnte ich im Bereiche der Macula nichts wahrnehmen, wie dies auch Dogiel bereits hervorhebt.

6. *Aeussere reticuläre Schicht.*

Aeussere granulierte Schicht (Henle), Zwischenkörnerschicht (H. Müller), Schicht der Nervenansätze und der tangentialen Fulcrumzellen (W. Müller), Membrana fenestrata (W. Krause), äussere plexiforme Schicht (R. y Cajal).

Tafel, Fig. 1 und 2, 6.

Schon oben wurde bei der Beschreibung der inneren reticulären Schicht auch des Verhaltens der äusseren reticulären Schicht Erwähnung gethan. Hier soll noch ergänzend hinzugefügt werden, dass nach Kuhnts Angabe (5) auch die äussere reticuläre Schicht am Grunde der Fovea vollständig verschwindet. Das was H. Müller als Zwischenkörnerschicht beschreibt umfasst zum Theil auch die äussere Faserschicht. Henle, der diese von der äusseren reticulären Schicht unterscheidet, lässt die äussere reticuläre Schicht früher ihr Ende erreichen als die innere. Die erstere ist nach seiner Darstellung, so weit die Fasern der äusseren Faserschichte in der Ebene der Retina streichen, nicht vorhanden. Nach Schwalbe (6) erfährt auch die äussere reticuläre Schichte im Gebiete der Macula nur eine geringe Dickenzunahme. Wadsworth (4) gibt an, dass die äussere reticuläre Schicht bis auf 0·2 *mm* vom Centrum der Fovea zu verfolgen ist.

Ich konnte an allen meinen Präparaten feststellen, dass die äussere reticuläre Schicht am Grunde der Fovea vollständig fehlt. Sie verschwindet stets früher als die innere reticuläre Schicht in einer Entfernung von 0·13 bis 0·39 *mm* von der Mitte der Fovea. Eine Verdickung derselben im Bereiche der Fovea konnte ich ebensowenig wie bei der inneren reticulären Schichte jemals wahrnehmen. Ihre Dicke beträgt in der Gegend der Netzhautanschwellung entsprechend dem nasalen oder temporalen Rande der Fovea 6 bis 12 μ. Von da an verschmächtigt sie sich allmählich gegen die Mitte der Fovea.

b) Neuroepithelschicht.

Äussere Faserschichte (Henle), Zapfenfaserschicht.

Tafel, Fig. 1 und 2, 7.

Diese Schichte, welche bekanntlich zuerst von Bergmann (27) beschrieben wurde, wird auch von H. Müller erwähnt, der sie als eine Verdickung der Zwischenkörnerschicht auffasst. Henle (28) hat den Namen der äusseren Faserschicht eingeführt, M. Schultze (2) dagegen wies in überzeugender Weise nach, dass es sich hier um keine besondere Schicht handelt, sondern nur um eine „besondere Modification der inneren Abtheilung der äusseren Körnerschicht“, welche im Baue der Fovea centralis bedingt ist. Henle hat übrigens das Vorkommen einer analogen, wenn auch nicht so ausgebildeten äusseren Faserschicht auch in anderen Partien der Retina nachgewiesen, worauf in neuester Zeit wieder Schaper (11) aufmerksam gemacht hat. In der Fovea häufen sich infolge des Mangels der Stäbchen die Zapfenfasern und da gleichzeitig die inneren Schichten der Netzhaut theils vollständig fehlen, theils reduciert sind, so müssen die Zapfenfasern jene der Netzhautoberfläche fast parallele Verlaufsrichtung annehmen, um zu den entsprechenden Partien der inneren Schichten zu gelangen.

Henle hat die von ihm sogenannte äussere Faserschichte genau beschrieben. Sie bildet nach ihm an der inneren Fläche der äusseren Körnerschichte eine 30 bis 40 μ dicke Lage, in der die einzelnen Fasern einen sanft welligen Verlauf nehmen. Hat der Schnitt die Fasern schräg auf ihren Verlauf getroffen, so zeigen sich bündelartige Ab-

theilungen derselben. Die einzelnen Fasern verlaufen aber nicht parallel der Ebene der Retina, sondern haben eine von der äusseren Körnerschichte zur äusseren granulierten Schichte aufsteigende Richtung und nur die sehr geringe Neigung ihres Ansteigens bewirkt nach Henle, dass so lange Strecken horizontal zu verlaufen scheinen. Henle vergleicht den Verlauf dieser liegenden Zapfenfasern mit jenem der Bündel des Musculus ileocostalis „indem immer Bündel von der einen Seite schräg herantreten und sich anlegen, während zugleich von dem entgegengesetzten Rande in gleicher Richtung Bündel abgehen“. In der Entfernung von 2 *mm* vom Mittelpunkte der Fovea richten sich die liegenden Fasern allmählich auf und verlaufen dann radiär, ohne aber den welligen Verlauf ganz aufzugeben. Sie schliessen sich nun nicht mehr dicht aneinander, sondern lassen Zwischenräume zwischen sich, die oft eine elliptische Form haben, mit der längeren Achse senkrecht auf die Ebene der Netzhaut. Es wird dies nach der Beschreibung Henles dadurch bedingt, dass „die Fasern sich von aussen her zu Bündeln sammeln und gegen die Insertion an die nervöse Schicht wieder divergieren.“ Es ist hier die Insertion der Fasern an die äussere reticuläre Schicht gemeint. Henle vergleicht die Fasern mit einem lichten Walde von schlanken Stämmchen mit zusammenneigenden Kronen. Die Mächtigkeit dieser Schichte radiär verlaufender Fasern ist nicht genau bestimmbar, doch soll sie selten grösser sein als die der liegenden Faserschichte (30 bis 40 μ). Am dicksten erschien sie in einem Alkoholpräparate mit 70 μ. Henle fand stets in dem Umkreise der liegenden Fasern radiäre, kann aber nicht bestimmen, wie weit sich diese peripherwärts erstrecken. In einem Auge konnte Henle das Vorkommen einer Schicht radiärer Fasern noch in der Nähe der Ora serrata constatieren. Die Fasern der äusseren Faserschicht strahlen von dem Mittelpunkte der Fovea radienförmig nach allen Seiten aus.

M. Schultze (2) hat das Verhalten der Zapfenfasern im Bereiche der Macula genau studiert. Zunächst verlängern sich dieselben in der Peripherie des gelben Fleckes, behalten aber noch ihre radiäre Richtung bei, wodurch eine scheinbare Verdickung der äusseren reticulären Schicht entsteht. Je näher aber die Zapfen, von denen die betreffenden Zapfenfasern kommen, gegen die Mitte der Fovea zu liegen, desto mehr legen sich die Zapfenfasern in die meridionale Richtung um und verlängern sich immer mehr und mehr, so dass sie in der Mitte des gelben Fleckes eine geradezu enorme Länge

erreichen. Bezüglich des Verlaufes der einzelnen Fasern pflichtet M. Schultze dem von Henle gegebenen Vergleiche mit dem M. ileo-costalis vollkommen bei.

Schaper (11) beschreibt und zeichnet die Structurverhältnisse in der Zapfenfaserschicht derart, dass die einzelnen Zapfenfasern in einer gestreckten ∽förmigen Bogenlinie verlaufen, indem sie in „steiler Richtung aus der äusseren Körnerschicht hervortretend eine Strecke weit mehr oder weniger in der Längsrichtung der Schicht verlaufen, um dann plötzlich mehrere zu einem Bündel vereint, fast senkrecht in die äussere granulierte Schicht auszulaufen. In gewisser Entfernung von dem Centrum der Fovea treten die Fasern auch aus der Körnerschicht in Bündel gruppiert aus.“

Ich habe die Zapfenfaserschicht als eine selbständige Schichte angeführt, obwohl man den Ausführungen M. Schultzes, dass es sich hier nur um die verlängerten Zapfenfasern handelt, beipflichten muss, weil sie für die Gegend der Macula in dieser Ausbildung — wie dies auch allgemein angegeben wird — charakteristisch ist. Ich ziehe den Namen äussere Faserschicht jenem der Zapfenfaserschicht vor, weil diese Schichte auch ausserhalb jenes Bereiches zu finden ist, in dem nur Zapfen vorkommen, so dass in den peripheren Partien derselben wenigstens auch Stäbchenfasern enthalten sein müssen. Ich habe ferner die Angaben der Autoren über diese Schicht deshalb so ausführlich citiert, weil eben in dieser Schicht sich sehr häufig Veränderungen zeigen, welche es uns erklären, dass die Grösse und Form der Fovea, wie wir sie in vielen Präparaten wahrnehmen, nicht der Wirklichkeit entsprechen kann.

An wohlconservierten Präparaten, welche die Fovea in der früher bereits beschriebenen Gestalt und Grösse, wie sie auch mit den ophthalmoskopischen Erscheinungen vollständig übereinstimmt, zeigen, finden sich an im horizontalen Meridiane des Auges angelegten Schnitten folgende Verhältnisse der äusseren Faserschicht:

Bereits in einer Entfernung von mehr als 2 *mm* von der Mitte der Fovea beginnt die äussere Faserschicht sich zu verdicken, die Fasern stellen sich schräg, später fast ganz horizontal und die Schichte verdickt sich immer mehr und mehr, bis sie in einer, in verschiedenen Augen sehr wechselnden Entfernung von der Mitte der Fovea — 0·33—0·5 *mm*

und mehr — ihre grösste Mächtigkeit erreicht. An dieser Stelle misst sie nasalwärts von der Mitte der Fovea 42—80 μ, an der Schläfenseite der Fovea 36—58 μ. Von hier an verschmälert sie sich entsprechend dem später zu besprechenden Vorrücken der äusseren Körner immer mehr und oft ziemlich rasch. In einem Bereiche von 0·15—0·45 *mm* ist am Grunde der Fovea keine eigentliche Zapfenfaserschicht mehr vorhanden.

Ich muss, sowie schon früher, ausdrücklich betonen, dass das, was wir als äussere Faserschichte bezeichnen, am Grunde der Fovea in der angegebenen Ausdehnung fehlt. Schaper (11) hat ganz Recht, wenn er sagt, dass, wenn Zapfenkörner am Grunde der Fovea sich finden, hier auch Zapfenfasern vorhanden sein müssen. Das was wir aber als Zapfenfaserschicht oder äussere Faserschicht (Henle) bezeichnen, wird durch die Zapfenfasern in ihrem Verlaufe zwischen dem Zapfenkorn und dem Ansatze der Zapfenfaser an der äusseren reticulären Schicht gebildet. In der ganzen Retina mit Ausnahme der Maculagegend existiert überhaupt nur dieser Theil der Zapfenfasern, indem die Zapfenkörner der Limitans externa dicht anliegen. In der Maculagegend aber rückt ein Theil der Zapfenkörner von der Limitans externa ab, da sie hier infolge der Vermehrung und endlich des ausschliesslichen Vorkommens der Zapfen nicht mehr in einer der Limitans externa anliegenden Reihe Platz haben. Am Grunde der Fovea centralis endlich, wo alle Zapfenkörner in einem gewissen Abstande von der Limitans externa liegen, besteht jede Zapfenfaser aus zwei Theilen: Einem, der zwischen Zapfenkorn und Limitans externa liegt, der andere, der von dem Zapfenkorn zur äusseren reticulären Schichte hinzieht, ganz so wie es von den Stäbchenfasern in der ganzen Ausdehnung der Retina gilt. Wenn also die äussere Faserschichte durch Verlängerung und Aufeinanderlagerung des zuletzt erwähnten Theiles der Zapfenfasern entsteht, so fehlt sie in der That in einer gewissen Ausdehnung am Grunde der Fovea ganz, denn hier rücken die äusseren Körner bis an die Reste der inneren Körnerschicht und Ganglienzellenschicht vor, eventuell, wenn auch diese Schichten fehlen, bis an die innere Oberfläche der Retina, so dass die Zapfenfasern nicht mehr in schräger, sondern in fast horizontaler Richtung zu ihnen treten (siehe Taf. Fig. 1 und 2). Die einzelnen Zapfenfasern, die hier noch zwischen den am weitesten nach innen gelagerten Zapfenkörnern, zu anderen mehr nach

aussen gegen die Limitans externa zu gelegenen hin verlaufen, kann man nicht mehr als eine Zapfenfaserschichte bezeichnen.

Es war also kein Irrthum meinerseits, als ich sagte, dass die Zapfenfaserschicht am Grunde der Fovea in einer gewissen Ausdehnung fehle. Ich muss vielmehr an dieser Angabe festhalten. Wollte man in der Mitte der Fovea (dort wo die Zapfenkörner von der Limitans externa abgerückt sind) die von den Zapfenkörnern zur Limitans verlaufenden äusseren Theile der Zapfenfasern als äussere Faserschichte bezeichnen, so würde diese Schichte mit dem, was wir sonst als Zapfenfaserschichte oder äussere Faserschichte benennen, kein Continuum bilden, vielmehr durch Zapfenkörner von ihr getrennt sein.

An vollständig gut fixierten Netzhäuten kann man ferner sehen, dass die Verlaufsrichtung der einzelnen Fasern in der Zapfenfaserschichte eine gestreckte, in den centralen Theilen der Macula der äusseren Oberfläche der Retina fast vollständig parallele ist. Erst in einiger Entfernung von der Mitte der Fovea verlaufen sie schräge in der Richtung von der äusseren reticulären Schicht gegen die äussere Körnerschicht und zugleich gegen die Mitte der Fovea zu. Gegen ihre Insertion an der äusseren reticulären Schichte biegen sie knapp an dieser um, ohne jene S-förmigen Biegungen zu zeigen, wie sie Schaper beschreibt und abbildet und ohne auch sich in Bündel mit dazwischen liegenden Spalträumen zu sondern. Dies ist ebenso wie der wellige Verlauf der Zapfenfasern, wie ihn Henle beschreibt, nur als Kunstproduct aufzufassen. Das gleiche gilt von den regelmässigen Vierecken, welche Merkel an der inneren Grenze der Zapfenfaserschicht erwähnt und abbildet und welche durch das rechtwinkelige Umbiegen der Zapfenfasern gegen die äussere reticuläre Schicht bedingt werden sollen.

Die äussere Faserschicht ist in Tafel, Fig. 1, in ihrem wahren Verhalten dargestellt. In Tafel, Fig. 2, ist die äussere Faserschicht an ihrer inneren und äusseren Begrenzung bereits nicht mehr ganz erhalten. An diesen beiden Stellen treten die Fasern mit auf kurze Strecke senkrechten Verlauf einerseits gegen die äussere Körnerschicht, andererseits gegen die äussere reticuläre Schichte aus der äusseren Faserschichte aus, indem sie kleine Zwischenräume zwischen sich lassen. Dass dies in der That nicht mehr völlig den natürlichen Verhältnissen entspricht, konnte ich ganz zweifellos durch Vergleich verschiedener Präparate untereinander constatieren.

In Augen, welche in Müller'scher Flüssigkeit gehärtet wurden, sieht man oft die Zapfenfasern fast vollständig senkrecht aufgestellt und die Zapfenfaserschicht dadurch zu einer riesigen Mächtigkeit angeschwollen. Die ganz exorbitanten Maasse von bis 170 μ, wie sie für dieselbe angegeben worden sind, haben in derlei künstlichen Verbildungen der Zapfenfasern ihre Ursache. Die äussere Faserschicht ist eben jene Schicht, in der sich am leichtesten Veränderungen zeigen. Ist doch schon seit H. Müller bekannt, dass die Netzhaut gerade in der Zwischenkörnerschicht nicht nur im Gebiete der Macula, sondern auch in anderen Gegenden, sich in zwei Blätter spalten lässt. Um wie viel mehr muss dies noch im Bereiche der Macula der Fall sein, wo die zarten Zapfenfasern eine so kolossale Länge erreichen. Immer wird durch solche Veränderungen der äusseren Faserschicht natürlich auch die Fovea verkleinert. Man braucht nur einen Blick auf die Abbildung von M. Schultze, Henle, Hulke, Schaper zu werfen und mit unserer Tafel, Fig. 1 und 2, zu vergleichen, um dies zu verstehen.

Es kommt natürlich hier ungemein viel auf die Wahl der Fixierungsflüssigkeit an. Schon Henle (10) hat darauf aufmerksam gemacht, dass gerade in der Müller'schen Flüssigkeit die äussere Faserschicht sich am stärksten verändert. Er vermuthet den Grund davon in der Schrumpfung des Glaskörpers, „dem die Sklera wegen ihrer natürlich durch die Einwirkung des Reagens noch erhöhten Festigkeit nicht folgen kann, was eine Dehnung der Retina in einer auf ihre Oberfläche senkrechten Richtung zur Folge haben muss.“ M. Schultze (2) nimmt zwar die Müller'sche Flüssigkeit gegen den Vorwurf, die Netzhaut in dieser Weise zu verändern, in Schutz, bemerkt aber doch auch, dass „durch künstliche Aufrichtung der schiefen Fasern zu rein radiären, Irrthümer in der Beurtheilung der Dicke der äusseren Körnerschicht“ entstehen können. Diese Aufrichtung — theilweise, wie sie sich im welligen Verlaufe der Fasern ausspricht, oder vollständig — könnte wohl durch einen Zug von innen, von der Glaskörperseite hervorgerufen werden, doch ist nicht zu vergessen, dass sich hierbei die Gehirnschicht gegen die sogenannte Epithelschicht auch in einer zur Oberfläche der Retina parallelen Richtung verschieben muss, wenn die erwähnten Aenderungen im Verlaufe der Zapfenfasern und die damit verbundene Verkleinerung des Durchmessers der Fovea hervorgerufen werden soll.

Als diejenigen Mittel, welche die äussere Faserschichte am besten conservieren, muss in erster Linie die $3^1/_2{}^0/_0$ Salpetersäure, dann die Flemming'sche Lösung genannt werden und dies erklärt auch, warum wir bei Anwendung dieser Flüssigkeiten die Fovea in ihrer natürlichen Gestalt erhalten können. Die concentrierte Sublimatlösung leistet in dieser Richtung durchaus nicht dasselbe, wie ich mich an einem Auge überzeugen konnte, welches aus dem lebenden Körper enucleiert worden war und direct nach der Enucleation in Sublimatlösung gebracht wurde. Hier war die Retina um die Fovea in feine radiäre Falten gelegt und in der äusseren Faserschicht zeigte sich eine ähnliche Lückenbildung zwischen den einzelnen Fasern und eine ähnliche Verlaufsrichtung, wie sie von Schaper (11) gezeichnet wird. Infolge dieses abnormen Verlaufes der Zapfenfasern ist auch in der Zeichnung dieses letzteren Autors die Fovea abnorm klein, der Abfall ihrer Wandungen um vieles zu steil, nämlich etwa 45^0.

Bereits M. Schultze (2) hat die kegelförmigen Enden der Zapfenfasern beschrieben, mit welchen sich diese an die äussere reticuläre Schicht ansetzen. Merkel (3) erwähnt dann das Vorkommen von plattenartigen Körpern in der äusseren granulierten Schicht, die in einer Reihe liegen und in ihrer Gesammtheit eine unterbrochene Linie nach Art der Hilfslinien in mathematischen Figuren bilden. In diesen plattenförmigen Gebilden sollen nach Merkel die Elemente der inneren Körnerschicht auslaufen, dagegen konnte Merkel nie einen Zusammenhang derselben mit den Zapfenfasern nachweisen. Merkel meint, man könnte versucht sein, den Nervenendigungen ihren Platz in diesen Körpern anzuweisen, wenn nicht die Zapfenfasern so deutlich das Gepräge von Nervenelementen trügen. Da nun Henle angibt, dass die einzelnen Abtheilungen jener unterbrochenen Linie identisch sind mit den Endpunkten der Zapfenfasern, so glaubte Merkel (29) durch Combination dieser zwei Befunde den Zusammenhang der Elemente der inneren Körnerschicht mit den Zapfenfasern gefunden zu haben. Er erklärt den Umstand, dass er nur den Zusammenhang mit den inneren Körnern aufgedeckt habe, während Henle die Verbindung mit den Zapfenfasern sah, dadurch, dass er und Henle verschiedene Theile der Retina untersucht haben. In den peripheren Theilen wäre es leicht zu constatieren, dass sich die Zapfenfasern in die erwähnten Körper fortsetzen, während daselbst die zarten Fasern zu den inneren Körnern leicht abreissen. In der

Gegend der Macula aber ist die Verbindung mit den Zapfenfasern eine lockerere als mit den verhältnismässig derben Fasern der inneren Körnerschicht. Durch eine besondere Präparation gelang es Merkel die plattenförmigen Gebilde sowohl mit den Zapfenfasern als mit den von den inneren Körnern kommenden Fasern darzustellen. Es stellte sich dabei heraus, dass jene strichförmigen Gebilde keine Platten sondern Ringe sind, welche nach Merkel, der die Zapfenfaser umhüllenden Scheide angehören, in welche sie im Bereiche der äusseren reticulären Schicht endigt. Die verschiedenen Angaben der Autoren über die Endigung der Zapfenfasern (nach M. Schultze und Schwalbe kegelförmig, nach Henle mehr kugelförmig, mit Fortsätzen versehen [Hasse, Merkel]) erklärt Merkel durch postmortale Veränderungen, die dadurch bedingt sind, dass die Zapfenfasern eine Scheide besitzen und dass dieselbe eine grosse Neigung zur Varicositätenbildung hat. Oft soll auch die Zapfenfaser einen vacuolenartigen Tropfen ausscheiden. Ist derselbe grösser, so erscheint er der Zapfenfaser oft einseitig angelagert. Manchmal ist die Scheide auch vollständig gesprengt.

Spätere Untersuchungen, namentlich von Dogiel, haben dann ergeben, dass eine directe Verbindung zwischen den bipolaren Zellen der inneren Körnerschicht und zwischen den Zapfen- (und auch Stäbchen-) Fasern nicht existiert. Die äusseren Fortsätze der bipolaren Zellen der inneren Körnerschicht gehen in der äusseren reticulären Schicht in die von Dogiel (21) sogenannten „körnigen Klümpchen" über, welche sich an die Basis der Anschwellung der Stäbchen- oder Zapfenfüsse anlegen, ohne mit ihnen zusammenzuhängen. Die körnigen Klümpchen, welche den Zapfenfüssen anliegen, erzeugen dann, im Profil gesehen, das Bild einer unterbrochenen Linie. In einer späteren Arbeit bezeichnet Dogiel mit Wahrscheinlichkeit die körnigen Klümpchen als die terminalen Netzchen der äusseren Fortsätze der grossen sternförmigen Zellen. Nach Tartuferi (23) würden aber die kegelförmigen Anschwellungen der Zapfenfasern Fibrillen aussenden, welche die einzelnen Zapfenkegel miteinander verbinden und ein der Netzhautoberfläche parallel liegendes Netz bilden, unter welchem dann ein von den Fortsätzen der Elemente der inneren Körnerschicht gebildetes Netz liegt.

Borysikiewicz (30) findet „im Bereiche der Macula dicht unter der äusseren granulierten Schicht ein Stratum, welches aus cubischen Gebilden besteht, die in ihrer Mitte ein oder zwei

dunkle Körnchen zeigen. Die einzelnen Gebilde sind stark lichtbrechend, tingieren sich mit Hämatoxylin und Osmiumsäure in geringem Grade und fehlen im Centrum der Fovea vollständig". Dort, wo sie sich, wenn man von der Mitte der Fovea ausgeht, zuerst zeigen, sind sie klein, weiter gegen die Peripherie werden sie höher und schmäler. Ausserhalb der Macula konnte Borysikiewicz diese Körperchen nicht vorfinden.

Ich kann nun mit voller Gewissheit aussagen, dass es sich bei dem, was Borysikiewicz beschreibt, um nichts anderes handeln kann, als um die Zapfenfaserkegel. Dieselben fehlen allerdings am Grunde der Fovea, u. zw. in derselben Ausdehnung, in welcher, wie oben angegeben wurde, die äussere reticuläre Schicht fehlt. Auch sind sie in der Gegend der Macula und besonders in den centralen Partien derselben, dort, wo sie zuerst sichtbar werden, kleiner als in den übrigen Theilen der Retina. Dies wird bereits von Dogiel (21) angegeben. Ich fand ihre Breite nahe der Mitte der Fovea gleich 3—3·5 μ, in einiger Entfernung vom Rande der Fovea etwa 4·5 μ. Auch bemerkt Dogiel, dass die Anschwellungen der Zapfenfüsse im Bereiche der Macula durch längere Einwirkung von Osmiumsäure „fast schwarz gefärbt werden. Die Ränder der Anschwellungen der Zapfenfasern erscheinen scharf begrenzt in Gestalt dunkler, die Klümpchen verdeckender Linien". Ich fand die Zapfenfaserkegel an den in Flemming'scher Lösung gehärteten Netzhäuten öfters ziemlich stark verbildet. Manchmal erscheinen sie wirklich nur als ganz zarte, horizontale, kurze, dunkle Linien; ein andermal wieder aber als ganz deutliche flache Kegel. Reisst nun, was häufig geschieht, die Zapfernfaser von ihrem Fusse ab, so bleibt der letztere als ein kegelförmiges oder auch unregelmässig cubisches Gebilde an der äusseren reticulären Schichte haften (Tafel, Fig. 3 c, d, e). Oft kann man dann den Rest der Zapfenfaser als eine kurze Prominenz an dem Zapfenfasernkegel erkennen und sieht dann an der Zapfenfaserschichte die entsprechende abgerissene Zapfenfaser hervorragen (Tafel, Fig. 3 b), oder man bemerkt die Stelle, an der die Zapfenfaser abgerissen ist, nur durch einen kleinen rundlichen Fleck an der der äusseren Faserschichte zugewendeten Seite des Zapfenfaserkegels (Tafel, Fig. 3 d). Kommt aber der Zapfenfaserkegel, von dem die Zapfenfaser abgerissen ist, nicht im Profil zur Beobachtung, sondern wendet derselbe, wie dies leicht durch einen schiefen Schnitt oder durch eine leichte Verschiebung zwischen der

äusseren Faserschichte und der äusseren reticulären Schichte geschehen kann, seine obere oder untere Seite ganz oder theilweise gegen das Auge des Untersuchers, so erscheint die Stelle, an welcher die Zapfenfaser abgerissen ist oder wohl auch ein kurzer Stumpf derselben als ein dunkles Pünktchen, welches an ein Kernkörperchen im Aussehen erinnert. (Tafel, Fig. 3 e).

Die soeben beschriebene Entstehung derselben lässt sich durch Vergleichung vieler Zapfenfaserkegel — gut erhaltener und bereits veränderter — mit einer allen Zweifel ausschliessenden Gewissheit feststellen. Diese dunklen Körperchen erscheinen ganz ebenso wie die Querschnitte der abgerissenen Enden der Zapfenfasern, ob sie nun an dem Zapfenfaserkegel hängen oder aus der Fasermasse der Zapfenfaserschichte hervorragen, bei tiefer Einstellung, welche ihre Contouren deutlich hervortreten lässt, als dunkle Flecke. Hebt man den Tubus des Mikroskopes etwas, so verwandeln sie sich in einen hell glänzenden Fleck, der von einem dunklen schattenartigen Ring begrenzt wird. Es deutet das auf eine nach oben convexe Fläche hin, durch welche der Stumpf der Zapfenfaser begrenzt wird.

In dieser Weise erscheinen die Verhältnisse natürlich nur an sonst gut erhaltenen Netzhäuten, während in anderen Fällen sich die Zapfenfaserkegel noch stärker verändert zeigen. Diese durch Abreissen der Zapfenfasern entstandenen Gebilde finden sich aber nicht nur in der Maculagegend, sondern auch sonst in der Retina, natürlich nur spärlicher.

Uebrigens hat bereits im Jahre 1876 Merkel (28) die dunklen Körperchen beschrieben und abgebildet, bringt aber ihre Entstehung mit Varicositätenbildung in Zusammenhang. Auch er hebt bereits ihre Aehnlichkeit mit Kernkörperchen hervor. Ich würde diese Dinge, als längst bekannt gar nicht erwähnt haben, wenn eben nicht neuerdings Borysikiewicz jene künstlich von den Zapfenfasern abgetrennten Zapfenfaserkegel als eine besondere Schichte aufgefasst hätte.

Borysikiewicz stellt übrigens die Sache in einer früheren Arbeit (31) anders dar. Hier sieht man in Fig. 24, 25 und 34 Zapfenfaserkegel abgebildet, u. zw. aus der Gegend der Macula, welche aber einen Kern enthalten. Borysikiewicz lässt nach seinen Untersuchungen die Müller'schen Radialfasern an der Limitans interna ihren Ursprung nehmen und in Form von Stäbchen und Zapfen ihr Ende erreichen, eine Ansicht, die übrigens lange vor ihm bereits W. Krause

aufgestellt hat. Aus der Beschreibung der Abbildungen geht hervor, dass Borysikiewicz diesen Kern als den Kern der mittleren Abtheilung der Radialfaser ansieht. Ein solcher Kern innerhalb der Zapfenfaserkegel ist, wie man sich leicht und auf den ersten Blick an jedem wohl erhaltenen Netzhautpräparate mit Bestimmtheit überzeugen kann, nicht vorhanden; auch die Verbindung derselben mit den Müller'schen Fasern existiert nicht.

An den Zapfenfaserkegeln aus der Gegend der Macula sieht man, wie Dogiel schon hervorhebt, die sogenannten Dogiel'schen körnigen Klümpchen nur undeutlich oder gar nicht, indem sie leicht durch die Zapfenfaserkegel verdeckt werden. In anderen Theilen der Netzhaut kann man aber deutlich erkennen, dass der Zapfenfaserkegel an seiner unteren Seite etwas ausgehöhlt ist und dass dieser Aushöhlung jenes körnige Klümpchen, welches sich z. B. mit Eosin öfters stärker färbt als der Zapfenfaserkegel, anliegt (Tafel, Fig. 4 a). An Netzhäuten, welche nicht mehr vollkommen frisch in die Flemming'sche Lösung gebracht worden sind, kann man dann wahrnehmen, wie die Zapfenfaserkegel — ich spreche jetzt zunächst nicht von der Gegend der Macula lutea — sich von den körnigen Klümpchen abheben, so dass zunächst ein spaltförmiger Zwischenraum zwischen beiden entsteht (Tafel, Fig. 4 b). Dieses Verhalten wird bereits von Dogiel (21) abgebildet und beschrieben. Ich konnte dann weiter sehen, dass dieser Zwischenraum immer grösser wird und schliesslich ein ganz blasenförmiges Aussehen annehmen kann. Die Zapfenfaserkegel selbst werden dabei immer schlanker und erscheinen im Durchschnitte als ein bogenförmiger Strich, an dessen grösster Convexität die Zapfenfaser sich ansetzt (Tafel, Fig. 4 c). Merkel (29) hat diese Hohlräume ebenfalls gesehen, sie aber als Vacuolen, welche sich in dem Zapfenfaserkegel bilden, erklärt.

Bei noch weiter vorgeschrittenen Veränderungen in dieser Schichte der Retina lösen sich dann die Zapfenfaserkegel vollständig aus ihrem Zusammenhange mit der äusseren reticulären Schicht ab und es erscheint dann das verbildete körnige Klümpchen als ein kurzer Strich an der äusseren Grenze der reticulären Schicht und nach aussen davon ein grösserer Hohlraum, welcher bis zur äusseren Körnerschicht reicht. Gerade in diesem Zustande sind jene kurzen Striche, welche sich zu einer Art gestrichelten Linie an der äusseren Grenze der äusseren reticulären Schichte zusammensetzen, sehr auffallend. Diese Ablösung

des Zapfenfaserkegels von dem körnigen Klümpchen scheint aber in der Gegend der Macula viel schwerer zu erfolgen, da ich sie hier oft nicht traf, während sie in anderen Theilen der Retina eingetreten war.

8. *Die äussere Körnerschicht.*

Zapfen und Stäbchenkörner.

Tafel, Fig. 1 und 2, s.

Sämmtliche Beobachter bis auf Hulke (1) führen die äussere Körnerschicht unter jenen Schichten an, welche am Grunde der Fovea erhalten sind. H. Müller (9) spricht von einer Verdünnung der äusseren Körnerschicht; die Abbildung M. Schultzes (2) aber zeigt die äussere Körnerschicht in einer gleichmässig dicken Lage in und ausser dem Bereiche der Fovea. Nach Merkel ist die äussere Körnerschicht in der Fovea verdickt. Wadsworth (4) gibt an, dass diese Schichte, welche gegen den Rand des Abhanges der Fovea nur 4—5 Körner übereinander zeigt und 30 μ dick ist, weiter gegen die Mitte der Fovea zunimmt und in der Mitte der Fovea selbst fast die doppelte Dicke — also 60 μ — erreicht. Während M. Schultze, Henle und auch Kuhnt die äusseren Körner der Limitans externa unmittelbar anliegen lassen, besteht nach Schwalbe (6) in den centralen Partien der Fovea ein Zwischenraum von 12 μ zwischen beiden. Dieser verschmälert sich nach der Peripherie hin allmählich und die Zapfenkörner schliessen sich der Limitans externa wieder an. So werden die Verhältnisse auch von Schaper (11) abgebildet. Er erwähnt, dass die äussere Körnerschicht bis dicht an den Fundus foveae heran nicht dicker ist als in den übrigen Partien der Retina, eher sogar dünner als in der Umgebung der Macula. Nach Borysikiewicz (30) endlich erscheint die äussere Körnerschicht in der Mitte der Fovea wesentlich verbreitert und besteht hier aus 5—6 Reihen.

Meine Untersuchungen haben nun gezeigt, dass die äussere Körnerschicht im Bereiche der Macula, abgesehen von den centralen Partien derselben, constant etwas dünner ist als in den benachbarten Partien der Retina. Betrachten wir einen horizontalen Schnitt, so misst die äussere Körnerschicht in der Entfernung von etwa 2—2·5 *mm* von der Mitte der Fovea nasalwärts 30—45 μ und es liegen hier 5—7 Körner übereinander. Gegen den Rand der Fovea zu wird sie allmählich dünner und erreicht den stärksten Grad der Verdünnung etwa dem Beginne des Clivus ent-

sprechend. Hier hat sie nur 21—30 μ, mit 3—4, höchstens 5 übereinander liegenden Körnern. Dann nimmt sie aber gegen die Mitte der Fovea hin wieder zu, ganz entsprechend der dort erfolgenden Abnahme der Zapfenfaserschichte. Dabei liegen aber jetzt, wie dies bereits von anderen Beobachtern angegeben wurde, die Zapfenkörner hier lange nicht so dicht beieinander, so dass die Vermehrung der Elemente durchaus nicht der Verdickung der Schichte, wie sie sich uns bei oberflächlicher Betrachtung darstellt, entsprechen kann. Auch liegen die Zapfenkörner hier in schräger Richtung angeordnet zwischen den in dieser Richtung sich gegen die Mitte der Fovea einsenkenden Zapfenfasern. Eine ovale Gestalt der Zapfenkörner habe ich nie gefunden, wie ich Schaper (11) gegenüber hervorheben muss. Noch mehr gegen die Mitte der Foveola nimmt die Dicke der Schicht aber wieder sehr rasch ab, so dass in der centralsten Partie, dort wo eine eigentliche Zapfenfaserschicht, wie oben erwähnt, fehlt, nur 2—3 Zapfenkörner übereinander liegen und auch diese nicht in Reihen, sondern ganz unregelmässig durcheinander stets durch grössere Zwischenräume getrennt, welche von Zapfenfasern, sei es in ihrem Verlaufe von dem Zapfenkorn zum Zapfen oder von der äusseren reticulären Schichte gegen die Zapfenkörner, durchsetzt wird.

Gleichzeitig mit dieser centralen Verdünnung der Zapfenkörnerschicht rücken aber die Zapfenkörner von der Limitans externa ab, so dass sie sich dort, wo keine eigentliche Zapfenfaserschichte mehr vorhanden ist, direct an die daselbst etwa vorhandenen inneren Körner und Zellen der Ganglienzellenschichte anschliessen. Fehlen auch diese und zeigt sich nur jener dünne Saum reticulierter Substanz als letzter Rest der Gehirnschicht, so sind die Zapfenkörner bloss durch diese dünne Lage vom Glaskörper getrennt, liegen also sozusagen hier fast vollständig zutage. Nie aber, auch dann nicht, wenn die Fovea, wie in diesem zuletzt erwähnten Falle, eine sehr flache war, konnte ich ein völliges Fehlen der Zapfenkörner in der Mitte der Fovea constatieren.

Das Abrücken der Zapfenkörner von der Limitans externa erfolgt ungefähr in der Ausdehnung von 0·3 bis 0·5 *mm* und es hat der zapfenkörnerfreie Raum nach vorn von der Limitans externa eine flach hügelförmige Gestalt. Die grösste Entfernung der Zapfenkörner von der Limitans externa in der Mitte beträgt bis 27 μ.

Auch in der temporalen Hälfte der Fovea zeigt sich, wenn wir die Verhältnisse in einem horizontalen Schnitte verfolgen, ein ganz analoges Verhalten der äusseren Körnerschicht. Auch hier ist sie zunächst wieder dicker und dann entsprechend etwa dem Beginne des Clivus, dort wo derselbe vom temporalen Rande der Fovea gegen die Mitte zu hinabsteigt, am dünnsten. Sie wird dann zwar wieder mächtiger, doch erreicht sie nicht jene Stärke wie an der nasalen Seite. 2 bis 2·5 *mm* temporalwärts von der Mitte der Fovea misst sie 27 bis 30 μ.

Die hier gegebene Beschreibung weicht also sehr wesentlich von der von Schwalbe gegebenen Abbildung ab. Dort hat die vordere Begrenzungslinie der äusseren Körnerschichte durchwegs einen der äusseren Oberfläche der Retina ganz parallelen Verlauf, die Zapfenfaserschichte zeigt hier auch ganz in der Mitte der Fovea genau dasselbe Verhalten wie an der Peripherie, in der dem Clivus entsprechenden Partie. Dies habe ich nie gesehen. Immer bildet die vordere Begrenzung der äusseren Körnerschichte im Centrum der Fovea nach vorne zu eine Verwölbung, eine Art Papille und dieser Stelle entsprechend fehlt auch die äussere Zapfenfaserschichte in dem Sinne wie ich es oben auseinandergesetzt habe. Die Zeichnung Schapers gibt zwar die Verhältnisse der äusseren Körnerschicht grösstentheils so wieder, wie ich es oben angegeben habe und wie es Tafel, Fig. 1 und 2 darstellt, doch nicht die Verhältnisse der Zapfenfaserschichte zur äusseren Körnerschicht wie ich sie als die Norm ansehen muss. In ähnlicher Weise, wie ich es hier geschildert habe, wird die äussere Körnerschicht von Chievitz (32) beschrieben.

Von Henle wird, wie oben bereits erwähnt wurde, angegeben, dass die beiden gangliösen Schichten am Grunde der Fovea mit der (äusseren) Körnerschicht zu einer Körnerlage zusammenfliessen, „in welcher an gehärteten Präparaten, die man allein zu solchen Schnitten verwenden kann, die Grenzen der einzelnen Schichten nicht mehr erkennbar sind". Ich kann dies im allgemeinen nicht bestätigen. Die Zapfenkörner sind sehr wohl durch ihre Beziehungen zur äusseren Faserschichte von den Resten der Gehirnschichte zu unterscheiden, in welcher man wieder, wie oben erwähnt, die inneren Körner und die Ganglienzellen als differente Gebilde erkennen kann, wenn auch hier die Elemente dieser Schichten oft nicht vollständig voneinander getrennt, sondern gleichsam durcheinander gewürfelt sind. Höchstens bezüglich

einzelner, ganz in der Mitte der Fovea gelegener Zapfenkörner könnte man im Zweifel sein, und diesselben auch wohl für innere Körner halten. Sehr oft hebt sich übrigens der in der Mitte der Fovea noch vorhandene Rest der Gehirnschicht von den darunter liegenden Theilen im Zusammenhange ab und wird dann durch eine schmale von einzelnen Fasern durchzogene Spalte von diesen getrennt.

9. *Membrana limitans externa.*

Tafel, Fig. 1 und 2, 9.

M. Schultze und ebenso später Wadsworth fanden eine Vorbauchung der Limitans externa nach vorne zu. Ich muss mich dagegen der Darstellung von Merkel, Henle, Schwalbe, Kuhnt anschliessen, dass die Limitans externa auch am Grunde der Fovea völlig geradlinig verläuft. Ich konnte dies direct zwar nur in einem Falle, wo die Retina mit der Chorioidea im Zusammenhange geblieben war, wahrnehmen, doch war es auch in allen anderen Fällen mit Sicherheit zu erschliessen.

Wir haben oben (Seite 8) bereits die Veränderungen der Retina im Bereiche der Foveola beschrieben, wie sie sich auch in ganz frischen Augen vorfinden. Die Foveola ist weniger stark nach vorn concav gekrümmt, oder es ist die innere Oberfläche der Retina an ihrer Stelle plan oder selbst leicht nach vorn convex. Dies hat zur Folge, dass sich die Limitans externa ebenfalls nach vorne convex krümmt, u. zw. meist ungefähr in einer der Foveola entsprechenden oder etwas grösseren Ausdehnung (0·12 bis 0·4 *mm*). Immer aber konnte man wahrnehmen, dass die Zapfenschicht genau der von der Limitans gebildeten nach vorn gerichteten Convexität folgt. Die Verbindungslinie der Enden der Zapfenaussenglieder beschreibt einen der Limitans externa vollkommen concentrischen Bogen.

10. *Die Stäbchen-Zapfenschicht.*

Tafel, Fig. 1 und 2, 10.

Sowohl die Länge als ganz besonders die Breite der Zapfen in der Gegend der Fovea hat die Anatomen und Physiologen stets sehr interessiert. Was ihre Länge betrifft, so wird zwar angegeben, dass sie bedeutend länger sind, als die Zapfen in der übrigen Retina, doch gehen die von den verschiedenen Untersuchern gefundenen Maasse bedeutend auseinander. Ihre Länge soll betragen: nach Merkel (3)

50 μ, nach Kuhnt (5) 60—75 μ, nach M. Schultze (2) bis 100 μ (sammt dem Pigmentepithel), nach Wadsworth (4) 70 μ, nach Schaffer (33) in der Mitte der Fovea 60 μ, nach Schaper (11) 50 μ. Die Dicke der Zapfeninnenglieder hat M. Schultze mit 2·8 μ gemessen (die Schrumpfung in der Müller'schen Flüssigkeit in Rechnung gezogen), H. Müller mit 1·5—2 μ, Merkel mit 3 μ, Kuhnt mit 2—2·5 μ, Wadsworth mit 2·5 μ, Schaper mit 2 μ; Welcker (34) fand sie an der völlig frischen Netzhaut eines hingerichteten 64jährigen Mannes = 3·1—3·6 μ.

Ich habe bereits die Messungen der Zapfen in der Fovea von 2 Fällen publiciert (7), wo ihre Länge mit 38—41 μ, resp. 36 μ, die Dicke der Innenglieder mit 3—3·5 μ gefunden wurde. In dem einen Falle war die Netzhaut in $3^1/_2$% Salpetersäure und dann in Alkohol, in dem anderen Falle mit Flemming'scher Lösung fixiert worden. Von den später untersuchten Netzhäuten fanden sich ebenfalls zwei Fälle, in denen die Zapfen ganz in der Mitte der Fovea so gut erhalten waren, dass man sie zur Messung verwenden konnte. Ihre Länge betrug hier 38—40 μ, ihre Dicke 2·3—2·5 μ. Von dem einen dieser Augen, das wegen eines Orbitaltumors vom lebenden Körper enucleiert und gleich nach der Enucleation in Sublimatlösung gebracht worden war, — die Retina war bei der Härtung der Chorioidea flach anliegend fixiert worden — wurde auch an Schnitten aus der Umgebung der Macula die Länge der Stäbchen und Zapfen gemessen. Es zeigten die Stäbchen eine Länge von 38—40 μ und eine Dicke der Innenglieder von 2 μ. Die Zapfen hatten eine Gesammtlänge von 28—30 μ, wobei etwa die Hälfte auf die Innenglieder entfiel. Die Breite der Innenglieder war 6·3—6·9 μ. Die Stäbchen und Zapfen waren vorzüglich erhalten und die Messungen wurden an jenen Elementen vorgenommen, welche keine zufälligen Veränderungen, als Verbiegungen etc. zeigten.

Untersucht man Schnitte von Netzhäuten, welche in Müller-scher Flüssigkeit gehärtet worden waren, so findet man die Fovea sehr klein mit steil abfallenden Rändern, in Grösse und Form ganz so wie sie früher stets beschrieben wurde. Die Limitans externa erscheint nach innen convex und die Zapfen an dieser Stelle ungemein verlängert. Die Müller'sche Flüssigkeit ist eben, wie dies auch schon von anderen Seiten betont worden ist, zur Fixierung der Netzhaut völlig ungeeignet. In der That hebt sich die Retina in Augen, welche

in Müller'sche Flüssigkeit gelegt wurden, stets in Falten von ihrer Unterlage ab. Es ist klar, dass diese Ablösung der Netzhaut nicht ohne Verlagerung und Gestalts- und Grössenveränderung in den einzelnen Theilen vor sich geben kann, ja die Ablösung einer Retina, welche in völlig normalem Zustande und der Chorioidea vollkommen anliegend in die Härtungsflüssigkeit gebracht wurde, ist eben der Ausdruck derartiger Veränderungen ihrer Structur. Dass dies wirklich so ist, kann man direct an Schnitten von in Müller'scher Flüssigkeit gehärteten Netzhäuten wahrnehmen. Die Limitans externa zeigt hier zwar auch jene Convexität nach vorne, wie sie bei Verwendung von Salpetersäure, Sublimat oder Flemming'scher Lösung sich einstellt. Während aber unter der Einwirkung dieser letzteren rasch einwirkenden Fixierungsmittel die Zapfen in der Fovea ihre Gestalt nicht ändern, werden sie während der langsamen Einwirkung der Müller'schen Flüssigkeit in der Mitte der Fovea im Bereich jener Verbiegung der Limitans externa in unnatürlicher Weise in die Länge gezogen, wobei sie mit dem Pigmentepithel in Zusammenhang bleiben oder sich von demselben auch ablösen.

Verläuft die Membrana limitans externa nun, wie wir es oben erwähnt haben, auch im Bereiche der Fovea völlig geradlinig, der äusseren Oberfläche der Retina parallel, dann kann die Länge der Zapfen auch in der Mitte der Fovea nicht über die für diese Entfernung von der Papille normale Länge der Stäbchen steigen. Wir haben aber oben gesehen, dass die Länge der Zapfen in der Mitte der Fovea nach unseren Messungen sogar erheblich hinter der Länge der Stäbchen, die gewöhnlich mit 50—60 μ angegeben wird, zurückbleibt. Um diesen Widerspruch aufzuklären habe ich daher auch die Stäbchen in Netzhautschnitten gemessen, welche ungefähr ebensoweit von der Papille entfernt waren wie die Maculagegend. In der That zeigten dieselben hier, wie oben erwähnt, eine Länge, welche mit jener der Zapfen in der Mitte der Fovea völlig übereinstimmt. Ich kann also nach meinen Messungen aussagen, dass die Stäbchen aus dem Hintergrunde des Auges überhaupt kürzer sind, als gewöhnlich angegeben wird. Ihre Länge ist 38—40 μ.

Die Zapfen in der Gegend der Macula sind länger und schlanker als die aus anderen Partien der Retina. Sie erreichen in der Mitte der Fovea jene Länge, die die Stäbchen sonst in den hintersten Theilen der Retina besitzen, also

bis 40 μ. In Tafel Fig. 5 sind in a und b Zapfen und Stäbchen aus den hinteren Theilen der Retina, in f ein Zapfen aus der Mitte der Fovea mit dem Zeichenapparate ganz genau abgezeichnet und nebeneinander auf der Limitans externa dargestellt, um ihre relativen Grössenverhältnisse zu zeigen.

Eine schräge Stellung der Zapfen am Grunde der Fovea, wie sie von Kuhnt (5) beschrieben wurde, ist wohl öfter zu sehen, ist aber ganz bestimmt nur ein Kunstproduct.

In einer ausgezeichnet erhaltenen Netzhaut, die von einem Auge stammte, welches unmittelbar nach der am Lebenden vorgenommenen Enucleation in Sublimat gelegt worden war, fand ich zahlreiche Zapfen, deren Kerne vor der Limitans lagen. Diese Zapfen unterschieden sich aber auch sonst noch von den gewöhnlichen Zapfen. Sie waren etwas schmäler, an ihrem inneren den Kern enthaltenden Ende etwa 4·6 μ dick und 21—25 μ lang, also etwas kürzer als die übrigen Zapfen. Ihr innerer Theil ist nahezu vollkommen cylindrisch, ihr äusseres Drittel etwa spitzt sich ziemlich rasch zu. Eine Trennung in ein Aussen- und ein Innenglied lässt sich nicht wahrnehmen (Tafel, Fig. 5 c). Sie sind durchwegs etwas stärker mit Eosin färbbar und fallen hierdurch, sowie durch den längsovalen, mit seinem kürzeren Durchmesser fast die ganze Breite einnehmenden Kern sehr auf. Zahlreiche von diesen Gebilden zeigen sich in ihren äusseren Theilen verändert. In einiger Entfernung unter der Spitze bildet sich eine Vacuole, welche den äusseren kegelförmigen Theil des betreffenden Zapfens abhebt. Dieser Theil fällt dann völlig ab und es bleibt der grösste innere Theil des Zapfens als ein nunmehr cylindrisches Gebilde mit unregelmässigem oder selbst ausgefranstem äusseren Ende zurück (Taf. Fig. 5 d, e).

In den hinteren Partien der Retina waren diese eigenthümlichen Zapfen so zahlreich, dass sich kaum ein Schnitt fand, wo nicht selbst mehrere sichtbar gewesen wären. Auch in den Maculaschnitten desselben Auges waren sie zu constatieren, doch nicht in den centralen Partien der Fovea. Schnitte aus der Gegend des Aequators zeigten diese Zapfen aber nur äusserst spärlich. Eine besondere Regel in ihrer Vertheilung konnte ich nicht wahrnehmen. Auch an zwei anderen frischen Netzhäuten waren an den durch die Macula gehenden Schnitten in den peripheren Theilen der Macula einzelne Zapfen zu sehen, deren Kerne vor der Limitans lagen. Ob sie ebenfalls die oben beschriebene

eigenthümliche Gestalt aufwiesen, kann ich nicht sagen, da die Zapfen- und Stäbchenaussenglieder überhaupt an diesen Stellen nicht wohl erhalten waren.

Zapfen mit vor der Limitans liegenden Kernen hat Stöhr (35) beschrieben, doch waren diese Zapfen nicht anders gebildet wie die übrigen Zapfen. Stöhr konnte nicht entscheiden, ob es sich hier um einen zweiten Kern handelte oder ob nur der eine Kern peripherwärts gerückt ist. Das letztere scheint ihm wahrscheinlicher. Borysikiewicz (31) findet ferner die äusseren Körner sehr häufig vor der Limitans, u. zw. nicht nur in den Zapfen, sondern sogar in den Stäbchen. Die Kerne sind oft so gelagert, dass sie die äussere Grenze mit $^1/_4$, der Hälfte oder $^3/_4$ des Körpers überschreiten, ja Borysikiewicz hat das äussere Korn auch am Ende des Stäbchens gefunden. Diese „exponierten Körner,“ wie sie Borysikiewicz nennt, waren in der Gegend der Ora serrata nur sehr spärlich, das Korn aber immer in der Mitte des Stäbchens. Gegen die Maculagegend zu werden sie häufiger, die Körner rücken aber der Limitans näher. „In der peripheren und ziemlich breiten Zone des gelben Fleckes ist aber fast in jedem Schlauche je ein an der Grenzmembran sitzendes Korn bemerkbar“ und in einer geringen Entfernung vom Rande der Centralgrube, sowie in der letzteren sind die äusseren Körner nur unter der Limitans externa, resp. nach innen von derselben nachweisbar. In einem Auge konnte Borysikiewicz diese exponierten Körner auch am Rande der Centralgrube wahrnehmen. Endlich hat Solger (36) Schnitte aus der Gegend der Macula beschrieben, bei welchen ebenfalls die Kerne der Zapfen weiter peripher gerückt waren und sich theils ausserhalb der Limitans externa befanden, theils von ihr in verschiedener Höhe geschnitten wurden. Solger weist darauf hin, dass mit der von Genderen Stort beschriebenen Verkürzung der Zapfen auf Lichteinwirkung vielleicht auch eine Lageveränderung des Kernes verbunden sein könnte, hält aber diese nicht für die Ursache der abnormen Lagerung der Zapfenkörner in seinen Präparaten, da sich keine Beziehung zwischen der Länge des Innengliedes und der Lage des Kernes auffinden liess. Er meint daher, dass es sich hier um eine besondere Eigenthümlichkeit der Zapfen handelt, welche sich vielleicht aus der Entwicklung der Zapfen erklärt. Die Innenglieder entstehen durch Auswachsen höckerartiger Fortsätze von den Zapfensehzellen über das Niveau der Limitans externa. Dabei könnte es nun in einzelnen Zapfen zu dieser Lage-

veränderung kommen, während in der Mehrzahl derselben der Kern unter der Limitans bleibt.

Zunächst ist hervorzuheben, dass zwischen meinen Beobachtungen und denen der anderen Autoren in der Richtung ein wesentlicher Unterschied besteht, dass die von mir gefundenen Zapfen mit an der Limitans gelegenen Kernen nicht gewöhnliche Zapfen waren, sondern in ihrer Gestalt wesentlich von diesen abwichen. Ferner sassen in meinen Präparaten die Kerne immer vollständig ausserhalb der Limitans und wurden von derselben nicht geschnitten. Kerne in den Stäbchen selbst, also ebenfalls vor der Limitans, wie dies Borysikiewicz angibt, konnte ich ebensowenig wie andere sehen. Denn für Stäbchen, in die etwa der Kern hineingelangt wäre, kann ich das, was ich gesehen habe, nicht halten, da ich von sehr vielen dieser Gebilde eine deutliche Zapfenfaser ausgehen sah, die sich mit einem typischen Zapfenfaserkegel an die äussere reticuläre Schichte ansetzte.

Um die Angaben von Borysikiewicz besser beurtheilen zu können, müssen wir aber auf seine Ansichten über die Stäbchenzapfenschicht etwas näher eingehen. Er beschreibt das Aussehen der Stäbchen derart, dass wenn das Stäbchen infolge der Härtung schmäler wird, das „ganze Gebilde die Form eines Zapfens annimmt, dessen dickerer, bauchiger Abschnitt entweder an die äussere Grenzmembran stösst oder mehr oder weniger in der Mitte zur Ansicht gelangt, ja selbst das Bild einer umgestürzten Flasche bietet“. Nach Borysikiewicz ist, wie erwähnt, die Müller'sche Faser, welche in die Stäbchen und Zapfen sich fortsetzen soll, aus 3 übereinanderliegenden Bestandtheilen zusammengesetzt. Der innere Theil hat seinen Kern in der Höhe des inneren Randes der Ganglienzellenschicht, der mittlere knapp über der äusseren granulierten Schicht; die 3. Abtheilung der Müller'schen Fasern wird dargestellt durch die Stäbchen und Zapfen. In der Nähe des oberen Endes des sogenannten Innengliedes soll hier wieder ein Kern mit einem Kernkörperchen liegen. Nun liegen aber die äusseren Körner nach der Angabe von Borysikiewicz ebenfalls in den Müller'schen Schläuchen, ja Borysikiewicz fand in einem „Schlauche“ zwei Körner innerhalb der äusseren Körnerschicht. Dies wäre also zum mindesten ein vierter, ja sogar ein fünfter Kern innerhalb der Müller'schen Faser, was der von Borysikiewicz selbst gemachten Aufstellung, dass die Müller'sche Faser aus „3 übereinanderliegenden und an ihren Enden miteinander verschmolzenen Abtheilungen sich zusammensetzt“, widerspricht.

Borysikiewicz beschreibt übrigens das Stäbchen als einen Schlauch von 60 μ Länge und 6 bis 7 μ Dicke. Die Längsstreifung des Innengliedes, die sich in ihrer Continuität bis auf die sogenannten Stäbchen und Zapfenfasern verfolgen lässt, kann sich auch auf die Aussenglieder fortsetzen und von demselben „isolieren“ und stäbchenförmige Gebilde darstellen. Borysikiewicz sagt: „Von vielen Autoren ist die Dicke des Stäbchenschlauches sehr gering angeschlagen worden. Diese Dimensionen dürften mit der grössten Wahrscheinlichkeit sich auf die erwähnten isolierten, in der That stabförmig aussehenden Längsstreifen beziehen.“ Das was aber Borysikiewicz in Fig. 35 als jene Form des Stäbchenschlauches abbildet, „welche den Verhältnissen in vivo am nächsten stehen dürfte,“ sind ganz schlecht erhaltene Elemente der Stäbchenzapfenschicht. Wir können uns diesen Schluss sehr wohl erlauben, da die Zeichnungen nach der eigenen Angabe Borysikiewiczs „möglichst naturgetreu“ ausgeführt worden sind. Nach solchen Präparaten kann man sich überhaupt kein Urtheil über die wirkliche Gestalt dieser Elemente erlauben und doch werden wir auf Seite 42 durch die Bemerkung überrascht: „Was hier von den Stäbchen bemerkt wurde, hat seine Giltigkeit auch für den Zapfen, indem ich beide Gebilde sowohl im anatomischen, als im physiologischen Sinne für vollkommen gleichwertig halte“, ein Ausspruch, der alles über den Haufen werfen würde, was ein H. Müller, M. Schultze, Henle und so viele andere in mühsamer, jahrelanger Forschung aufgebaut haben. Es kann auch keinem Zweifel unterliegen, dass das, was in Fig. 49 der Arbeit von Borysikiewicz abgebildet ist, mit ihren Innengliedern verklebte Elemente der Stäbchenzapfenschichte sind.

Ueber die wirkliche Bedeutung dieser eigenthümlichen Zapfen könnte man wohl nur Vermuthungen aussprechen. Dass es sich nicht um eine etwa durch Lichtwirkung hervorgerufene Erscheinung handeln kann, das liegt nach dem vereinzelten Vorkommen auf der Hand. Man muss wohl annehmen, dass diese Zapfen besonderer Art durch einen abnormen Entwicklungsvorgang diese Gestalt angenommen haben und dass auch darin die Ursache für die ungewöhnliche Lage des Kerns zu suchen ist. An eine besondere functionell von den übrigen verschiedene Zapfenart zu denken, wäre wohl etwas gewagt, wenn auch diese Gebilde viel häufiger vorkommen mögen, als man bisher angenommen hat.

Schlussbetrachtungen.

Zunächst einige Worte über unsere Darstellung der Fovea Tafel, Fig. 1 und 2. Beide Bilder sind vollkommen naturgetreu nach den Präparaten wiedergegeben und nur in der Foveola die Retina in ihre natürliche Lage zurückgelegt. In Fig. 1, die nach einem in Salpetersäure fixierten Präparate gezeichnet ist, sind die einzelnen Netzhautelemente wohl viel besser in ihrer Lagerung zu einander erhalten als in Fig. 2 (Härtung in Flemming'scher Lösung). Hier sind in den inneren Partien der inneren Körnerschicht die einzelnen Zellen offenbar etwas auseinander gezerrt, auch die Zapfenfasern haben (wie oben erwähnt) nicht mehr ganz ihre normale Verlaufsrichtung. Es ist also auch wohl die ganze Retina hier um ein geringes dicker, die Fovea etwas kleiner als es in vivo der Fall gewesen sein mag.

Werfen wir nun einen Rückblick auf das Verhalten der einzelnen Netzhautschichten in der Fovea, so muss zunächst die Zunahme der gangliösen Schichten am Rande der Fovea und noch auf eine grössere Ausdehnung hinaus als ganz constant hervorgehoben werden. Ich sage gangliösen Schichten, indem ich hier den für diese Schichten von Dogiel vorgeschlagenen Namen anwende, welcher die Ganglienzellenschicht als innere gangliöse Schicht, die Schicht der Spongioblasten als mittlere gangliöse Schichte und die Schichte der bipolaren Körner als äussere gangliöse Schichte bezeichnet. Dagegen zeigen die reticulären Schichten keine Zunahme. In der Mitte der Fovea verschwinden ganz constant die beiden reticulären Schichten, manchmal auch die gangliösen Schichten, während diese in anderen Fällen, u. zw. wie es scheint viel häufiger in dünner Lage auch in der Mitte der Fovea persistieren.

Schaper (11) hat ganz Recht, wenn er sagt, dass das Fehlen der beiden gangliösen Schichten sich offenbar nur in solchen Fällen findet, wo „die Fovea ein ausserordentlich flaches Relief zeigte, so dass der Boden derselben auf eine längere Strecke eben verlief.“ Er fährt dann fort: „Da ein solches Verhalten der Fovea aber kaum als das Normale angesehen werden kann (ich habe es eigentlich nur an schlecht fixierten Präparaten gesehen), so ist wohl auch das Fehlen dieser Schichten am Fundus foveae nicht als Regel aufzustellen.“ Nun haben die im vorstehenden niedergelegten Untersuchungen ge-

zeigt, dass das Fehlen der gangliösen Schichten weniger häufig vorkommt als deren blosse Verdünnung, dass die gangliösen Schichten aber wirklich am Grunde der Fovea fehlen können, steht ausser allen Zweifel, denn die Netzhäute, an denen ich es nachweisen konnte, stammten von Augen, welche während des Lebens enucleiert und gleich nach der Enucleation in die Härtungsflüssigkeit gelangt waren, in welcher sie in ganz vorzüglicher Weise fixiert worden waren. Die Untersuchung des Macularreflexes in den Augen jugendlicher Individuen zeigt uns ferner, dass die Fovea häufig um vieles grösser ist als die Papille und es scheint die Annahme daher nicht ungerechtfertigt, dass so flach gebaute Foveae, in welchen dann oft auch die beiden gangliösen Schichten vollständig fehlen dürften, nicht zu den grossen Seltenheiten gehören müssen.

Schaper kommt dann weiter zu dem Schlusse, dass die Schilderung Henles, wonach die beiden gangliösen Schichten im Centrum der Fovea mit der Körnerschichte zu einer Körnerlage von 0·08 *mm* Mächtigkeit zusammenfliessen, auch heute noch zu recht bestehe. Ich muss hier darauf hinweisen, dass es sich dabei um einen Irrthum — vielleicht nur um einen Druckfehler bei Henle handeln muss, der nun auch von Schaper neuerdings wiederholt wird. Nachdem Henle (10) ausdrücklich erwähnt hat, dass die Dicke der Retina in der Tiefe der Grube „nicht viel über und manchmal unter 0·1 *mm* beträgt, gibt er an, dass die beiden gangliösen Schichten im Centrum der Fovea unter sich und mit der (äusseren) Körnerschichte zu einer Körnerlage von 0·08 *mm* zusammenfliessen. Eine von beiden Zahlen muss entschieden unrichtig sein, denn wenn beide richtig wären, so würden für die Länge der Zapfen in der Mitte der Fovea bloss 20 μ oder selbst noch weniger übrig bleiben. Auch in dem durch die Mitte der Fovea gehenden Schnitt, den Schaper abgebildet hat, kann jene Körnerlage unmöglich jene Mächtigkeit erreicht haben, da die darunter befindlichen Zapfen, deren Länge mit 50 μ angegeben wird, in der Figur fast ebenso lang gezeichnet sind als die Dicke der in der Mitte mit der äusseren Körnerschichte vereinigten gangliösen Schichten beträgt.

Dass die äussere Körnerschicht sich stets am Grunde der Fovea von den Resten der gangliösen Schichten unterscheiden lässt, wurde bereits oben erwähnt. Die zusammengeflossenen gangliösen Schichten messen in meinen Präparaten 15—30 μ und der ganze vor

der Limitans externa liegende Theil der Retina misst am Grunde der Fovea nicht mehr als 60—80 μ.

Am Grunde der Fovea verdünnt sich also die Körnerschicht oder schwindet selbst bis auf eine letzte Andeutung. In Fig. 1 und 2 ist mit G die Gehirnschicht und mit E die Neuroepithelschicht bezeichnet. Es geht aus diesen Figuren hervor, dass die letztere in der Fovea ein verschiedenes Verhalten zeigen kann. Sie ist entweder in der unmittelbaren Umgebung der Foveola am dicksten oder die dickste Stelle entspricht ungefähr jener Stelle, an welcher die ganze Retina am dicksten ist. Es hängt das mit dem flacheren oder steileren Bau der Fovea und dem dadurch bedingten Verhalten der äusseren Faserschichte zusammen. Ist die Fovea sehr gross, erreichen infolge dessen die Zapfenfasern die entsprechenden Elemente der Gehirnschichte viel später, so müssen in den centralen Partien relativ mehr Fasern über einander liegen als dann, wenn dieselben viel kürzer sind.

Die Verdünnung der äusseren Körnerschicht im Bereiche der peripheren Theile der Fovea hängt offenbar damit zusammen, dass hier die Stäbchen immer mehr an Zahl abnehmen, wie dies bereits H. Müller hervorgehoben hat. Die Zapfenkörner aber lagern sich in mehreren Reihen übereinander, da sie eben nicht alle mehr in einer Reihe knapp an der Limitans externa Platz finden. Da nun ganz in der Mitte der Fovea die Zapfenkörner sehr spärlich sind, nur 2—3 davon übereinander liegen, so müssen sie sich in der Umgebung dieser Stelle wieder mehr anhäufen und dem entsprechend zeigt sich eine Verdickung der äusseren Körnerschicht rings um die centralste Partie, die allerdings infolge der mehr lockeren Lagerung der Zapfenkörner bedeutender erscheint, als sie wirklich ist.

Wie die Untersuchungen von Chievitz (32, 38) gezeigt haben, kommt bei vielen Thieren eine als Area centralis gebaute Stelle vor, ohne dass eine Fovea vorhanden wäre. Das Charakteristische dieser Area besteht eben in der Verdickung der Ganglienzellenschicht und der inneren Körnerschicht, während in der Stäbchenzapfenschicht die einzelnen Elemente schmäler werden und gewisse Sehzellen in grösserer Zahl auftreten. Die äussere Körnerschicht verhält sich hiernach verschieden, je nachdem die Stäbchenzapfenschicht grösstentheils Elemente enthält, deren Durchmesser bedeutend geringer oder nahezu ebenso gross ist als der Durchmesser der über der Limitans externa liegenden Zapfen- oder Stäbchenkörner. Beim Menschen, wo die sehr schmalen

Stäbchen gegen die Mitte der Fovea zu an Zahl abnehmen, wird auch die äussere Körnerschicht im Bereiche der Fovea (abgesehen von jener kleinen Stelle) dünner, während sie bei gewissen Thieren (Rana esculenta, Lacerta viridis, Vögel) im Bereiche der Area centralis sich verdickt, weil hier die ohnehin schon sehr breiten Elemente der Stäbchenzapfenschicht sich in der Area centralis verschmälern.

Die Stäbchenzapfen können nach Chievitz in der Area verlängert sein oder sie sind wie bei der Krähe und beim Sperling verkürzt oder endlich sie sind in ihrer Länge unverändert. Ich muss nach meinen Untersuchungen die menschliche Area centralis der letztgenannten Gruppe zurechnen.

Beim Menschen nun gesellt sich, so wie bei vielen Thieren zu der Area centralis eine Vertiefung — Fovea — hinzu, deren Umgebung dann eben als Area centralis gebaut ist. Dieses Verhalten ist, wie Chievitz angibt, dort, wo bei einer Thiergattung überhaupt eine Fovea zur Beobachtung kommt, ganz regelmässig zu constatieren. Auch beim Menschen findet sich während einer gewissen Zeit des foetalen Lebens eine Area centralis, aber noch keine Fovea. Diese bildet sich erst nach dem 6. Monat (Chievitz 37), u. zw. von der vitrealen Seite der Retina gegen die chorioideale zu. Auch die Zapfenfaserschichte zeigt sich erst dann, wenn eine Fovea vorhanden ist.

Von diesen Gesichtspunkten aus ist es nicht denkbar, dass die Verdickung der gangliösen Schichten am Rande der Fovea fehlt, wohl aber sind sehr vielfache individuelle Verschiedenheiten im Bau der Fovea, in deren Grösse und dem Verhalten der Schichten in derselben möglich und kommen in der That vor, wie dies bereits H. Müller vermuthet hatte. Foveae von geringem Durchmesser, in welchen die Gehirnschichte der Retina noch in ziemlicher Dicke erhalten ist, stellen im Gegensatze zu grösseren, in welchen die Gehirnschicht am Grunde der Fovea fehlt, gleichsam frühere Entwicklungsstufen der Fovea dar, auf welchen die Fovea stehen geblieben ist.

Ich kann mich aber nicht auf den Standpunkt Schapers (11) stellen, dass die individuellen Verschiedenheiten im Bau der Fovea in histologischer und physiologischer Beziehung von recht geringer Bedeutung sind. Wir werden im physiologischen Theile der Arbeit sehen, dass gar manche Erscheinungen sich nur durch Berücksichtigung jener Verschiedenheiten erklären lassen. Aber auch in histologischer

Beziehung sind dieselben nicht gleichgiltig. Bei dem Baue der Fovea centralis kann es sich nicht allein darum handeln, wie Schaper meint, den in das Auge eintretenden Lichtstrahlen an einer Stelle der Netzhaut einen möglichst ungehinderten Durchtritt zu den percipierenden Elementen derselben, also zu den Sehepithelien, frei zu geben, um hiermit einen Ort des scharfen Sehens zu gewinnen. Das Wesentliche ist vielmehr die ganz andere und viel intimere Verbindung der Sehepithelien mit dem Centralorgan, wie sie durch den Bau der Fovea ermöglicht wird und es muss von Interesse sein, diejenigen Verhältnisse, welche sich trotz der individuellen Verschiedenheiten constant vorfinden, festzustellen, wie dies bereits oben geschehen ist.

Was die Verbindung der Stäbchen und Zapfen mit den Sehnervenfasern betrifft, so haben die neueren Untersuchungen von Dogiel, Ramon y Cajal im Gegensatze zu den früheren von Merkel, Gunn und Kuhnt keine directe Verbindung zwischen den äusseren Fortsätzen der inneren Körner und den Zapfen- und Stäbchenfüssen erwiesen. Dogiels körnige Klümpchen sollen dem unteren etwas ausgehöhlten Ende des Stäbchen- oder Zapfenfusses bloss anliegen und Ramon y Cajal sagt direct, dass von der basalen Fläche des Zapfenfusses einige frei endigende Fäserchen horizontal abgehen. Dieser Autor weist ferner die Behauptung anderer Autoren, dass das Ende der Stäbchenfaser sich in der äusseren reticulären Schicht fortsetzt, zurück und lässt die Stäbchenfaser an der äusseren plexiformen (reticulären) Schicht mit einer kleinen kegelförmigen Anschwellung endigen. Eine directe Verbindung zwischen den Elementen der Sehzellenschicht und den inneren Körnern existiert nach Ramon y Cajal überhaupt nicht. Die Leitung wird bloss durch den Contact zwischen den Federbüschen der äusseren Fortsätze der bipolaren Zellen und den Füssen der Stäbchen und Zapfenfasern bewirkt. Dabei sind immer mehrere Stäbchen mit einer bipolaren Zelle in dieser Contactverbindung, während andere bipolare Zellen zu den Zapfen gehören, aber immer nur von einem Zapfen die Reize weiter leiten. In der Fovea centralis aber ist dann die Leitung eine präcisere, indem hier jeder Zapfen nur zu einem „einzigen Federbusche der betreffenden bipolaren Zelle in Contact tritt, welche wieder nur mit einer einzigen Ganglienzelle in Verbindung zu sein scheint“.

Es wäre also von Wichtigkeit, das Verhältnis der äusseren zur inneren Körnerschicht festzustellen. Schon H. Müller war die be-

deutende Dicke der inneren Körnerschicht in der Gegend der Macula aufgefallen. Er bemerkt, dass es evident sei, dass die Zahl der inneren Körner in einer gewissen Ausdehnung jene der äusseren erreicht, so dass man annehmen kann, dass sich je ein äusseres mit einem inneren Korn verbindet, fügt aber hinzu: „Dagegen weiss ich nicht, wie man sich das Verhältnis da vorstellen soll, wo, wie es wenigstens den Anschein hat, die inneren Körner die äusseren an Zahl noch übertreffen".

Chievitz (32) hat Zählungen der einzelnen Elemente in den verschiedenen Netzhautschichten der Gegend der Area centralis und in anderen Netzhautpartien, bei Menschen und bei verschiedenen Thieren vorgenommen. Er hat von der Foveaachse an eine 1 *mm* lange Strecke durchgezählt. Er fand die äusseren Körner und die Ganglienzellen an Zahl gleich, während die Zahl der inneren Körner doppelt so gross ist, als die Zahl der äusseren Körner, so dass also hier zwei innere Körner auf eine Sehzelle kommen würden. In der übrigen Retina sind die äusseren Körner zahlreicher als die inneren Körner und als die Ganglienzellen.

Nun lassen sich aber gegen diese Zählungen manche Bedenken erheben. Wie oben erwähnt wurde, verlaufen die Zapfenfasern in den mittleren Theilen der Fovea der Oberfläche der Retina fast parallel, erst später richten sie sich mehr auf und verlaufen schräg zu derselben, um endlich in einer Entfernung von etwa 2 *mm* von der Mitte der Fovea in die radiäre Richtung überzugehen. Erst 2 *mm* von der Mitte der Fovea finden sich also die zu je einer Sehzelle gehörigen inneren Körner oder genauer gesagt bipolaren Zellen auf einem Durchschnitte der Retina senkrecht über der betreffenden Sehzelle. In der Fovea selbst ist dies aber durchaus nicht der Fall. Hier werden infolge des eigenthümlichen Verlaufes der Zapfenfasern Elemente der Sehzellenschicht, welche näher dem Centrum liegen, mit Elementen der Gehirnschichte verbunden, die bedeutend weiter vom Centrum der Fovea abstehen. Zählt man also in einem vollständig in situ gebliebenen Netzhautpräparate die Elemente, beginnend von der Mitte der Fovea bis zu einem Punkte, der 1 *mm* von dem Centrum der Fovea entfernt ist, so kann man die für die Elemente der Sehzellenschicht und der Gehirnschicht gefundenen Zahlen überhaupt nicht miteinander vergleichen, da man die zu der gefundenen Menge der äusseren Körner gehörigen inneren Körner und Ganglienzellen als in dem durch-

gezählten Stücke der Netzhaut gar nicht vorfindlich, überhaupt nicht mitgezählt hat.

Darnach sollte man allerdings in einem 1 *mm* langen Stücke der Netzhaut weniger Ganglienzellen und innere Körner finden, als der gefundenen Zahl von äusseren Körnern entspricht. Man könnte also aus dem Umstande, dass Chievitz in einer 1 *mm* langen Netzhautpartie 2 innere Körner und eine Ganglienzelle auf ein äusseres Korn fand, den Schluss ziehen, dass in der Gegend der Macula noch mehr innere Körner und noch mehr Ganglienzellen mit einer Sehzelle verbunden sind. Wir wissen aber nicht, ob die Fovea in dem Präparate von Chievitz in der normalen Grösse zu sehen war. Wenn sie bedeutend kleiner war, was, wie wir oben gesehen haben, hauptsächlich durch die Veränderungen in der äusseren Faserschichte und durch die Verschiebung der Gehirnschichte gegen die Sehzellenschichte in der Richtung gegen die Mitte der Fovea erfolgt, so kann der Fehler, welcher dadurch begangen wurde, dass ein nur 1 *mm* langes Stück der Netzhaut durchgezählt wurde, ausgeglichen oder auch übercompensirt worden sein.

Es kommt aber noch ein anderer Umstand bei diesen Zählungen in Betracht. Die innere Körnerschicht enthält ihrer Natur nach sehr verschiedene Elemente, neben den bipolaren Zellen, die bei der Zählung einzig in Betracht kommen sollten, auch noch die sogenannten Spongioblasten, die grossen und kleinen sternförmigen Zellen und die Kerne der Müller'schen Radialfasern. Nun haben wir aber gesehen, dass z. B. die Spongioblasten in der Umgebung der Fovea und am Rande derselben offenbar vermehrt sind und es geht daher nicht an, die Körnerschicht als Ganzes zu betrachten und, wie Chievitz es gethan, sämmtliche Elemente derselben zu zählen und dann mit der Zahl der äusseren Körner zu vergleichen. Aber auch die Elemente der äusseren Körnerschicht sind nicht alle gleichwertig. Dogiel hat die subepithelialen Zellen beschrieben, welche in dem inneren Theile der äusseren Körnerschicht zunächst der äusseren reticulären Schicht zwischen den Füssen der Sehzellen liegen und ihrer Natur nach als durch ihre eigenthümliche Lage modificierte bipolare Zellen des Ganglion retinae anzusehen sind. Alle diese Elemente kann man aber hauptsächlich, wie Dogiel u. A. hervorgehoben haben, durch die Art und Richtung ihrer Verästelung, die aber wiederum erst durch bestimmte Färbungsmethoden und Präparationen ermittelt werden kann, unterscheiden. Ich bekam, soweit

ich nach meinen Präparaten urtheilen kann, den Eindruck, dass die bipolaren Zellen in der inneren Körnerschicht im Gebiete der Verdickung der Retina am Rand der Fovea überhaupt nicht stärker vermehrt sind, als dies durch die Verdünnung oder das Fehlen dieser Schichte in der Fovea bedingt ist.

Selbst, wenn man aber diese Unterscheidung zwischen den einzelnen Elementen der Körnerschichten gemacht hätte, erwüchse noch eine Schwierigkeit daraus, dass man die Zählungen eben wegen der Art der Anordnung der Fasern in der äusseren Faserschichte nur in einem grösseren Netzhautbezirke, im Ausmaasse von etwa 2 *mm* in meridionaler Richtung von der Mitte der Fovea an gerechnet, machen könnte, denn es dürfte wohl schwerlich gelingen, eine Zapfenfaser derart durch die äussere Faserschicht zu verfolgen, dass man sagen könnte: Zu diesem Zapfen gehört bestimmt dieser Zapfenfaserkegel in der äusseren reticulären Schicht und bis zu diesem Zapfenfaserkegel muss ich die bipolaren Zellen zählen, wenn ich die äusseren Körner bis zu dem Zapfenkorn, welches jenem Zapfen entspricht, gezählt habe. Zählt man aber die einzelnen Elemente in der Ausdehnung von 2 *mm* von der Mitte der Fovea an, so bekommt man gar keinen Begriff von dem Verhalten der Verbindungen zwischen äusseren und inneren Körnern in der Mitte der Fovea, denn man zählt eben auch Elemente, welche den peripheren Theilen der Fovea und selbst deren weiterer Umgebung angehören, in denen bereits sich zahlreiche Stäbchen unter die Zapfen mischen. In geringer Entfernung von der Macula ist ja bereits nach M. Schultze die Anordnung der Stäbchen und Zapfen ganz dieselbe wie in der übrigen Retina.

Aus den vorliegenden Gründen muss ich derartige Zählungen, wie sie Chievitz vorgenommen hat, für nicht beweiskräftig für den Zusammenhang der Sehzellen mit den inneren Schichten halten und habe dieselben daher an meinen Präparaten nicht vorgenommen. Ich überlasse dieselben jenen, welche mit speciellen, die Unterscheidung der Dignität der einzelnen Netzhautelemente ermöglichenden Methoden an die Untersuchung der Retina herantreten und selbst diesen werden hierbei nach dem, was ich soeben anzudeuten mir erlaubt habe, bei der Ermittlung dieser Verhältnisse erhebliche Schwierigkeiten erwachsen.

Bezüglich des **Stützgewebes der Retina** in der Gegend der Macula sei hier auf die schöne Arbeit von **Dogiel** (15) verwiesen, welcher uns im Gegensatze zu älteren Angaben gezeigt hat, dass die Müller'schen Fasern in der Gegend der Macula durchaus nicht gering entwickelt sind. Nur spalten sich dieselben an dem inneren Ende oft in 2 bis 3 Fasern, welche Spaltung in verschiedener Entfernung von der Limitans interna (Margo limitans) erfolgt. Auch ich konnte dieses Verhalten an meinen Präparaten sehen. Natürlich sind dann diese einzelnen sich zum Margo limitans zusammenschliessenden Fasern viel zarter als die breiten conischen Anschwellungen der Müller'schen Fasern, besonders in der Umgebung der Papille. Ueberhaupt macht das Stützgewebe der Retina in der Gegend der Macula den Eindruck einer stärkeren Verzweigung, entsprechend der Verdickung einzelner Schichten am Rande der Fovea und der Vermehrung der Elemente in denselben.

C. Die Retinalgefässe der Gegend der Macula lutea.

Bekanntlich wird angegeben, dass die Macula lutea Netzhautgefässe enthält während die Fovea centralis selbst gefässlos ist. **Der gefässlose Bezirk soll etwa 0·5 *mm* im Durchmesser haben.** Da die Gefässverhältnisse in der Netzhautmitte vielfach nicht auf anatomischem, sondern auf entoptischem Wege untersucht wurden, so will ich mich hier auf diese kurze Bemerkung beschränken und eine genauere Besprechung der diesbezüglichen Literatur erst später im physiologischen Theile dieser Schrift folgen lassen.

Aus dem, was im vorstehenden auseinandergesetzt wurde, geht hervor, dass wir, auch wenn wir den Durchmesser des gefässlosen Theiles der Retina mit 0·5 *mm* annehmen, nicht sagen können: die Fovea centralis enthält keine Netzhautgefässe. **Da durch meine Untersuchungen festgestellt wurde, dass die Fovea fast immer grösser, sehr selten nur etwas kleiner ist als die Papille, so muss die Retina auch im Bereiche des grössten Theiles der Fovea centralis noch Gefässe enthalten, wie dies auch an meinen Abbildungen** (Tafel, Fig. 1 und 2) **ersichtlich ist. Sie fehlen nur in einem mittleren Theile der Fovea centralis,** dessen Durchmesser etwa 1/3 der Fovea beträgt, wenn wir den verticalen Durchmesser der Fovea dieser Vergleichung

zugrunde legen oder oft noch weniger, wenn wir die Fovea in horizontaler Richtung messen.

Die Netzhautgefässe verbreiten sich in der ganzen Netzhaut nur in der Gehirnschicht und lassen das Neuroepithel frei. So verhält es sich auch bei allen Thieren, welche überhaupt Gefässe in ihrer Netzhaut besitzen. Die einzige Ausnahme, den Aal betreffend, bei welchem Netzhautgefässe auch noch in der äusseren Körnerschicht gefunden wurden (Denissenko), ist strittig.

Auch in meinen Präparaten fanden sich die Gefässe nur in der Gehirnschicht, die äussere Faserschichte und die nach aussen davon liegenden Schichten waren vollständig frei von Gefässen, wie dies stets und auch noch zuletzt von Barrett (39) angegeben wurde.

Es ist klar, dass schon daraus folgt, dass die gefässlose Stelle je nach dem Baue der Fovea, eine verschiedene Grösse haben muss. In jenen Augen, wo die Gehirnschicht an der tiefsten Stelle der Fovea vollständig fehlt oder vielmehr nur durch einen zarten Streifen von reticuliert aussehender Substanz mit einzelnen eingelagerten Körnern angedeutet erscheint, wo gleichzeitig ein wirklicher, ziemlich grosser Fundus foveae existiert (Tafel, Fig. 1), wird die gefässlose Stelle auch einen grösseren Durchmesser haben. Da, wo aber die Gehirnschicht auch am Grunde der Fovea noch vorhanden ist, werden die Gefässe dem Centrum der Fovea näher rücken können und wahrscheinlich desto mehr, je dicker jene Lage der Gehirnschicht am Grunde der Fovea ist.

Es versteht sich, dass zu Messungen der Entfernung der Gefässe von der Mitte der Fovea auch nur jene Netzhäute benützt werden konnten, wo die Fovea in ihrer natürlichen Gestalt erhalten, die Retina nicht gefaltet oder in ihrer Schichtung verändert war. Ich muss deshalb allen Messungen dieser Art, wie sie bisher an Netzhautschnitten von verschiedenen Autoren (Denissenko, Wadsworth, Schaper etc.) ausgeführt wurden, jeden Wert absprechen.

Die Entfernung der ersten Gefässe von der Mitte der Fovea betrug in jenen meiner Präparate, welche zu diesen Messungen verwendet werden konnten, 0·18—0·4 *mm*, was sich, da durchwegs Horizontalschnitte angelegt worden waren, auf den horizontalen Durchmesser bezieht. Die grösste Zahl fand sich in der That für jene Fälle, wo die Gehirnschicht am Grunde der Fovea fehlte (Fall 1).

II.

Die Farbe der Macula lutea.

Bezüglich der Grösse des gelben Fleckes werden stets die Angaben H. Müllers (9) citirt. Derselbe erwähnt zunächst, dass um die intensiver gefärbte Stelle „sich ein schwächerer gelblicher Hof findet, der sich bedeutend weiter erstreckt und ganz allmählich verliert". H. Müller maass in einem Auge die intensiv gelb gefärbte Stelle zu 0·88 *mm* im horizontalen und 0·53 *mm* im verticalen Durchmesser, die schwache Färbung war in einer Länge von 2·1 *mm* und in einer Höhe von 0·88 *mm* zu sehen. In einem anderen Auge war die Ausdehnung der intensiven Färbung in horizontaler Richtung 1·5 *mm*, in verticaler 0·8 *mm*. Die schwächer gelbe Farbe war in einem noch grösseren Umkreis vorhanden. H. Müller macht auch darauf aufmerksam, dass in der Grösse des gelben Fleckes bedeutende individuelle Schwankungen vorkommen und dass die gelbe Färbung auch schon wegen ihrer diffusen Begrenzung ein schlechtes Merkmal für eine genauere Bestimmung der Localität der Retina in der Achsengegend des Auges ist.

Sehr verschieden wird das Verhalten der centralsten Stelle des gelben Fleckes beschrieben. Michaelis (8) gibt sehr schön ausgeführte Abbildungen von Flächenansichten des gelben Fleckes, in denen eine centrale kleine farblose Stelle zu sehen ist. In einer anderen Figur derselben Arbeit aber, die eine „ideelle Vorstellung von der Lage der Theile in der Gegend der Macula lutea" geben soll, zieht auch über den Grund der Fovea eine gelbgefärbte Schichte hinüber. Kölliker (40) erwähnt nichts von einer centralen ungefärbten Stelle. Nach H. Müller

(9) ist die Retina in der Fovea centralis farblos. M. Schultze (41) gibt dagegen ausdrücklich an, dass die Fovea centralis ebenfalls wie die Macula lutea intensiv gelb gefärbt ist. Schmidt-Rimpler (42) sah an der aus dem frischen Auge ausgeschnittenen Retina die Fovea als dunkelbraunen querovalen Fleck in der Mitte der Macula lutea. Kühne (43) fand die Fovea centralis in der von der Chorioidea abgehobenen Retina als farblose Delle in der intensiv gelben Umgebung. Doch erwähnt er von einem Falle, dass sich die gelbe Farbe bis fast in das Centrum der Fovea erstreckte.

Bezüglich der Elemente, welche die gelbe Farbe enthalten, hat Kölliker (40) eine gleichmässige helle gelbe Infiltration der Theile gefunden, „so zwar, dass alle vortrefflich erhaltenen Retinalelemente (Ganglienzellen, Stäbchen, Körner, Fasern) gefärbt erscheinen.“ Auch Henle (44) sah die Farbe des gelben Fleckes „diffus und nicht an ein bestimmtes Gebilde gebunden“. Wie Dittrich, Gerlach und Herz (45), die ebenso wie Kölliker und Henle ihre Beobachtungen an den Augen Hingerichteter anstellten, meinen, schien „gerade die Kernformation der Theil der Retina zu sein, von welchem der gelbe Fleck hauptsächlich ausgeht, indem es gerade die Körner waren, welche unter dem Mikroskope an der dem gelben Flecke entsprechenden Stelle der Retina intensiv gelb gefärbt erschienen“. M. Schultze (41) sagt, dass das Pigment eine „homogene, zwischen den Fasern und Zellen der Retina auftretende citronen- bis blassorangegelbe Masse ist. Die Farbe dieser Massen ist bei der Betrachtung mit starker 3—400facher Vergrösserung noch sehr intensiv, wenn man dafür sorgt, dass die nach dem Tode sich trübenden Zellen, Fasern und anderen Elemente der Retina möglichst beseitigt werden, wie dies durch Abspülen der Retina in Serum und weiter durch leichtes Zerzupfen der Macula lutea gelingt.“

Dieser gelbe Farbstoff ist nach M. Schultze in den inneren Schichten enthalten, fehlt dagegen in den Zapfen. Schwalbe (13) gibt an, dass die Färbung eine diffuse ist, „alle Schichten der Netzhaut mit Ausnahme der Zapfenschicht und der Lage der äusseren Körner sind durch einen diffus zwischen die Formelemente der Netzhaut abgelagerten gelben Farbstoff tingiert“. An anderer Stelle (6) drückt sich Schwalbe folgendermaassen darüber aus: „Der gelben Färbung liegt ein diffuser gelber Farbstoff zugrunde, der sämmtliche vor den Sehzellen gelegenen Netzhautschichten der Macula gleich-

mässig durchtränkt.“ Während man also nach der ersteren Darstellung Schwalbes annehmen könnte, dass der gelbe Farbstoff auch in der äusseren Faserschichte enthalten sei, würde nach der zuletzt citierten Angabe diese letztere Schichte des gelben Farbstoffes ermangeln, da sie zur Neuroepithelschicht zu zählen ist.

Es muss hier zunächst hervorgehoben werden, dass, wenn man in der Mitte der Macula lutea einen kleinen farblosen Fleck wahrnimmt, man nach den im vorstehenden enthaltenen anatomischen Untersuchungen nicht sagen kann, dass die Fovea farblos ist. Dies haben natürlich alle früheren Beobachter gethan, da sie die Grösse der Fovea mit 0·2—0·4 *mm* annahmen, den von ihnen gesehenen farblosen Fleck in der Mitte der Macula lutea also für die Fovea hielten. Da wir jetzt wissen, dass die Fovea viel grösser ist, so kann es sich hier nur um den Grund der Fovea, in welchem die Netzhaut am dünnsten ist, handeln.

Ich habe nun eine Anzahl von frischen Netzhäuten, welche theils $^3/_4$ Stunden bis 2 Stunden nach dem Tode der Leiche entnommen wurden, theils von Augen stammten, welche während des Lebens enucleiert worden waren, auf diese Verhältnisse untersucht. In sämmtlichen dieser Augen war die Retina in der Gegend der Macula lutea glatt der Chorioidea anliegend, eine Plica centralis hatte sich noch nicht gebildet. Messungen der Grösse des gelben Fleckes habe ich nicht vorgenommen, doch kann ich angeben, dass die hier vorkommenden individuellen Verschiedenheiten auch nach dem, was ich beobachtet habe, sehr bedeutende sind.

Ein Theil der Netzhäute wurde in der Weise untersucht, dass eine kleine viereckige, die Macula enthaltende Stelle ausgeschnitten, auf einen Objectträger gebracht und in Glaskörperflüssigkeit mit der Loupe und unter dem Mikroskope, im durchfallenden Lichte und auf weisser Unterlage im auffallenden Lichte angesehen wurde. Ich konnte dabei constatieren, dass, wie es M. Schultze angibt, die dünnste Stelle der Retina ebenfalls die gelbe Farbe enthält. Diese Stelle erscheint als ein schwächer gelbgefärbter heller Fleck, dessen Durchmesser sehr verschieden ist, aber wohl immer unter 0·5 *mm* bleibt. Dieser Fleck wird dann von einem recht intensiv gelbgefärbten Ringe umschlossen, welcher sich sehr allmählich in die Umgebung verliert. Nicht immer ist in der centralen, heller gelbgefärbten Stelle

die Färbung bei Anwendung stärkerer Vergrösserung ganz gleichmässig. Oft sieht man stärker gelbgefärbte Streifen diese Partien durchziehen.

Die schwachgefärbte kleine, runde, centrale Partie in der Macula entspricht offenbar dem Grunde der Fovea, der dünnsten Stelle der Retina. Es ist das dieselbe Stelle, welche im durchfallenden Lichte am durchsichtigsten erscheint, wenn wir eine frische Netzhaut auf einen Objectträger legen und gegen das Licht halten. Ist die Retina in situ, so sieht man im Centrum der Fovea einen dunklen kleinen Punkt, indem hier das Pigmentepithel und die Chorioidea am deutlichsten durchscheint.

Derselbe dunkle Fleck in der Mitte der Fovea ist endlich auch bei der ophthalmoskopischen Untersuchung sichtbar. Ich habe ihn (7) nicht nur dadurch erklärt, dass die Netzhaut hier dünner ist, sondern zog auch den Umstand zur Erklärung heran, dass hier der diffuse Lichtreflex seitens der äusseren Faserschichte fehlt, während in der Umgebung dieser Partie die äussere Faserschicht gerade am dicksten ist und sich dann gegen die Mitte der Fovea zu sehr rasch verdünnt.

Ich habe diese Begründung hauptsächlich mit Rücksicht auf jenen Fall gegeben, bei welchem die Gehirnschicht am Grunde der Fovea ganz fehlte. Bei dem in diesem Falle sehr kleinen Winkel, unter welchem der Clivus gegen die Mitte der Fovea zu abfällt und bei dem hier vorhandenen Fundus foveae, ist es, wie ich l. c. auseinandergesetzt habe, nicht anzunehmen, „dass die dünnste Stelle der Retina als ein wenn auch nicht scharf begrenzter, aber doch in seiner Grösse deutlich bestimmbarer dunkler Fleck erscheint. Unter den vorliegenden Umständen könnte wohl die dünnste Stelle der Retina am dunkelsten aussehen, von da an müsste sich aber die dunkle Farbe so gradatim verlieren, dass es unmöglich wäre, die dunkle Stelle einigermaassen genau zu begrenzen.“ In jenen Augen aber, wo kein eigentlicher Fundus foveae vorhanden ist und wo der Clivus gleich in die Fovea übergeht (Fig. 2) scheint allerdings die Erklärung des mit dem Augenspiegel sichtbaren dunklen Fleckes bereits in der Verdünnung der Retina an der tiefsten Stelle der Fovea zu liegen. Auch bei der Entstehung des dunklen Fleckes, in der Gegend der Macula, wie er bei Embolie der Centralarterie und bei Ablatio retinae in der Gegend der Macula auftritt, werden die angegebenen Momente in Betracht kommen.

Eine Bestimmung der Vertheilung der gelben Farbe in Schnittpräparaten begegnet deshalb bedeutenden Schwierigkeiten, weil der gelbe Farbstoff der Macula lutea bekanntlich in Alkohol löslich ist und man daher die gewöhnlichen Härtungsmethoden nicht anwenden kann. Versuche, die Retina der Maculagegend ohne vorhergehende Fixierung zwischen zwei Plättchen von Hollundermark mittels des Gefriermikrotomes zu schneiden, missglückten. Die Retina zerfiel sehr rasch beim Auflegen der Schnitte in kleine Bruchstücke und riss zum mindesten am Grunde der Fovea stets ein, so dass man kein vollständiges Bild erhalten konnte. Da ich nun bemerkt hatte, dass die gelbe Farbe der Macula sich in $3\frac{1}{2}\%$ Salpetersäurelösung sehr wohl erhielt und bis zum Einlegen der Netzhaut in Alkohol in der Salpetersäurelösung keine Veränderung eingieng, so wurden die Augen, unmittelbar nach dem sie enucleiert worden waren, in $3\frac{1}{2}\%$ Salpetersäurelösung gebracht. Es geschah dies entweder nach Abtragung des vorderen Abschnittes oder auch so, dass das ganze Auge eingelegt wurde, nachdem vorher in der Gegend des Aequators ein etwa 6—10 *mm* langer Einschnitt mit dem Rasiermesser durch die Sklera gemacht worden war, wobei Sorge getragen wurde, dass kein Glaskörper abfloss. Nach ein- bis mehrstündigem Verweilen der Augen in der Salpetersäurelösung wurde ein viereckiges Stück der Netzhaut sammt dem gelben Fleck herausgeschnitten, mit grösster Vorsicht zwischen zwei Stückchen Hollundermark gelegt, welche mit einer dicken Gummilösung befeuchtet waren und so auf die Platte des Gefriermikrotomes gebracht. Dann wurden mittels eines Pinsels noch einige Tropfen jener Gummilösung auf das ganze gebracht und der Aetherspray in Bewegung gesetzt.

Beim Schneiden entstand wiederum die Schwierigkeit, dass die Schnitte, wenn sie vom Messer auf den Objectträger gebracht wurden, sehr rasch aufthauten und dann zerrissen. Ich gebrauchte daher später den Kunstgriff, nach jedem Schnitte auf den gefrorenen Block wieder neuerdings mit dem Pinsel eine dünne Schicht der Gummilösung aufzutragen und diese Schicht vor dem Schneiden zum Frieren zu bringen. Die Schnitte im ganzen wurden dadurch ziemlich dick, leichter zu behandeln, konnten, ohne dass sie inzwischen aufthauten, mittels einer Präpariernadel an ihrem Rande aufgespiesst und auf den Objectträger übertragen werden und enthielten doch keine allzudicken Schnitte der Retina selbst. Auf dem Objectträger war bereits ein viereckiges Rähmchen aus Seidenpapier zur Stütze des Deckglases

vorbereitet, in dessen Mitte einige Tropfen einer concentrirten Lösung von Kali aceticum gebracht worden waren. In diese wurden die Schnitte eingelegt und dann das ganze mit dem Deckglase bedeckt.

Schon bei diesen Manipulationen musste es auffallen, dass die gelbe Farbe der Macula nur an der inneren Fläche des Netzhautstückchens zu sehen war, während die Aussenfläche, sowie auch die Innenfläche der Retina ausserhalb der Macula durch die Einwirkung der Salpetersäure weiss erschien. An den dünneren der mit dem Gefriermikrotome angefertigten Schnitte zeigte sich *die gelbe Farbe in der Gehirnschicht, u. zw. auch in den Resten derselben am Grunde der Fovea, ja sie war an den Schnitten oft hier am intensivsten.* Sie durchsetzte sämmtliche Elemente dieser Schichten in ganz diffuser Weise und verlor sich an den meisten Schnitten bereits vor dem Rande der Fovea ganz allmählich. An den dickeren Schnitten konnte man aber mit voller Sicherheit wahrnehmen, *dass sich die gelbe Färbung auch in die äussere Faserschichte, jedoch in etwas geringerer Intensität erstreckte und nur die Schichte der äusseren Körner frei liess.*

Man kann also nicht sagen, dass die Sehzellenschicht der gelben Färbung entbehrt. An diesen Präparaten konnte man die gelbe Färbung noch durch mehrere Tage hindurch sehen. Doch blasste sie im Verlaufe dieser Zeit allmählich ab, blieb aber immer am Grunde der Fovea noch am längsten wahrnehmbar.

Es ist zu bemerken, dass auch an diesen Schnitten der Durchmesser der Fovea stets mindestens jenem der Papille gleichkam, ja ihn oft wesentlich übertraf.

Wie es sich in einem Auge, in welchem die inneren Schichten der Netzhaut am Grunde der Fovea fehlen, mit der gelben Farbe verhalten würde, kann ich nach eigener Beobachtung nicht angeben, doch ist es wohl wahrscheinlich, dass auch hier die zarte Gewebs; schicht, welche als Fortsetzung oder letzte Andeutung der Gehirnschicht noch am Grunde der Fovea vorhanden ist und welche einzelne Körner eingestreut enthält, gelb gefärbt ist. Jedenfalls würde die Zapfenfaserschicht, welche sich hier in ganz besonderer Dicke noch sehr nahe der Mitte der Fovea vorfindet, die gelbe Farbe enthalten.

Ob die Zapfenfasern auch da, wo sie in der Mitte der Fovea nach aussen von den Zapfenkörnern in fast senkrechter Richtung ver-

laufen, gelb gefärbt sind, das konnte ich bei der grossen Schwierigkeit der Untersuchungsmethode nicht mit Sicherheit feststellen.

Ich kann aber auch noch einen anderen Beweis für das Vorhandensein der gelben Farbe auch auf dem Grunde der Fovea anführen. Ich habe *zwei Fälle von Embolie der Centralarterie beobachtet, in welchen die gelbe Farbe der Macula direct sichtbar war.* Bei dem einen Falle war der dunkelrothe Fleck, wie man ihn sonst bei der Embolie in der Mitte der Fovea sehen kann, nicht zu sehen, dafür zeigte sich diese Stelle in einer sehr schönen gelben Farbe, welche bei gewöhnlichem Gaslicht wenig auffiel, bei der Untersuchung mit einem Auer'schen Brenner oder bei Tageslicht aber sehr deutlich hervortrat. Die gelbe Farbe verlor sich sehr allmählich gegen die Umgebung. In dem anderen Falle von Embolie war der dunkle Fleck in der Fovea zwar zu sehen, doch hatte er deutlich eine gelblich-braune Farbe, die ohne Zweifel ebenfalls von der gelben Farbe der Macula herrührte. Der dunkle Fleck in der Mitte der Fovea war in dem ersten Falle wohl nur deshalb nicht zu sehen, weil die Gehirnschicht in diesem Auge am Grunde der Fovea noch ganz besonders dick war, so dass ihre Trübung an dieser Stelle hinreichte, um die Netzhauttrübung in der Maculagegend gleichmässig, von keinem dunklen Fleck unterbrochen erscheinen zu lassen. Vor diesem hellen Grunde konnte man dann sehr deutlich die gelbe Farbe der Macula wahrnehmen. Auch in dem zweiten Falle mag die Gehirnschicht am Grunde der Fovea dicker als gewöhnlich gewesen sein.

Man muss sich aber fragen, warum man nicht fast in jedem Falle von Embolie die gelbe Farbe der Macula wahrnimmt, da sie sich doch entschieden weiter erstreckt als der dunkle Fleck, der nur dem Grunde der Fovea entspricht. Wir sollten also diesen letzteren von einem gelblichen Ringe umgeben sehen. Es wäre nun denkbar, dass die gelbe Farbe durch den pathologischen Process in der Retina gewöhnlich vernichtet wird und dass dies in unseren Fällen nur aus irgend einem besonderen Grunde nicht der Fall war. Andererseits wäre es auch möglich, dass man die gelbe Farbe häufiger wahrnehmen würde, wenn man in solchen Fällen immer mit einem möglichst weissen Lichte (Auer'sches Gasglühlicht, Tageslicht) untersuchen würde.

Meine Untersuchungen haben also ergeben, dass die Fovea auch in ihrem Grunde, entsprechend der Foveola gelb gefärbt ist. Die gelbe Farbe ist nur hier sehr schwach, weil die dieselbe enthaltenden Netz-

hautschichten nur sehr dünn sind. In der Umgebung des Grundes der Fovea, wo dann diese Schichten schon dicker werden, ist auch die gelbe Farbe sehr deutlich wahrnehmbar, nimmt aber trotz der zunehmenden Dicke der Gehirnschicht schon gegen den Rand der Fovea hin wieder ab, wie sich sehr leicht aus der Vergleichung der wirklichen Grösse der Fovea mit den von H. Müller gegebenen Maassen des gelben Fleckes ergibt. Ja es ist sehr wohl möglich, dass, wenn die Macula in einem Auge ziemlich klein ist, die gelbe Farbe schon vor dem Rande der Fovea vollständig aufhört, denn ich habe Netzhäute gefunden, in denen sich die Macula, auch wenn man den schwachgefärbten Randtheil dazu rechnet, kaum über 1 *mm* erstreckte.

Man hat bisher stets gesagt, dass die Fovea im Centrum der Macula liege und infolge dessen auch den Ausdruck Limbus luteus foveae gebraucht. Dies entspricht nicht den Thatsachen, indem es möglich ist, dass die Fovea grösser ist als die Macula. Wir werden uns also folgendermaassen über die Beziehungen zwischen Fovea und Macula ausdrücken müssen: Die gelbe Färbung der Retina, welche wir als Macula lutea bezeichnen, findet sich an der dünnsten Stelle, am Grunde der Fovea und in dessen Umgebung und erstreckt sich allmählich abnehmend bis gegen den Rand der Fovea oder noch etwas über denselben hinaus. Dem Grunde der Fovea entsprechend, erscheint uns die gelbe Farbe bei Betrachtung der Retina von der Fläche schwächer, nicht deswegen, weil hier die Färbung geringer ist, sondern weil hier die die gelbe Farbe am intensivsten zeigende Gehirnschicht sehr dünn ist.

Das Vorhandensein der gelben Farbe auch im Grunde der Fovea entspricht nun in der That auch den physiologischen Thatsachen. Die Untersuchungen von M. Schultze (41), Preyer (46), Hering (47, 49) und Sachs (48) haben gezeigt, dass die gelbe Farbe der Macula alle homogenen Lichter vom Gelbgrün bis zum Violett absorbirt, und zwar desto stärker je kleiner die Wellenlänge ist. Hering fand an den zu diesen Untersuchungen verwendeten Netzhäuten, dass die gelbe Farbe von der Peripherie gegen die Mitte der Macula sichtlich zunimmt und „in der Leichennetzhaut dicht am Foramen centrale am stärksten ist.

Er sagt weiter: „Ueber die Pigmentierung der Fovea centralis konnte ich keinen Aufschluss gewinnen, denn aus den von mir untersuchten, obwohl zum Theil noch frischen Leichenaugen, erhielt ich die Netzhäute nur mit einem Foramen centrale.“ Es ist hier mit dem Namen Fovea centralis das bezeichnet, was wir jetzt richtig „Grund der Fovea“ nennen müssen. Hering fährt dann fort: „Ich selbst vermochte auch mit sehr empfindlichen entoptischen Methoden die Pigmentlosigkeit meiner eigenen Fovea nicht nachzuweisen; vielmehr stimmten die Beobachtungen zu M. Schultzes Angabe. Jedenfalls ist die Macula wenigstens in der unmittelbaren Nähe der Fovea am stärksten pigmentiert und es nimmt von hier die Färbung allmählich in radiärer Richtung ab, um sich schliesslich ohne scharfe Grenze zu verlieren.“

Auch wenn wir mit M. Schultze daran denken, dass die gelbe Farbe der Macula die chemisch stärker wirkenden kurzwelligen Strahlen von den lichtempfindenden Elementen abhalten soll, würde es dieser Vorstellung nicht entsprechen, wenn die centralste Stelle der Fovea nicht gelb gefärbt wäre.*)

*) Boll (50) hat die Ansicht ausgesprochen, dass man den physiologischen Nutzen des in den vorderen Schichten der Retina befindlichen gelben Farbstoffes der Macula lutea „in der Beschirmung des Sehrothes gegen die blauen und violetten Strahlen suchen könnte.“ Diese Ansicht ist nicht haltbar, da im Bereiche der Macula die Stäbchen fehlen, also auch kein Sehroth vorhanden ist.

II. THEIL.

Die entoptischen Erscheinungen in der Gegend der Macula

---

1. *Die gefässlose Stelle der Retina.*

Im Gegensatze zu den früheren Angaben behauptete D. P. Johannides (51) die Gefässlosigkeit der Netzhaut im Bereiche des gelben Fleckes. Das von Gerlach injicierte Präparat, auf das sich Johannides bei dieser Angabe stützte, zeigte allerdings eine gefässlose Stelle, deren Durchmesser in horizontaler Richtung 1·02 *mm*, in verticaler 0·92 *mm* betrug. Leber (52) bemerkte in einer der Arbeit von Johannides auf dem Fusse folgenden Entgegnung, dass man schon durch die ophthalmoskopische Untersuchung feststellen könne, dass Netzhautgefässe sich innerhalb der Macula lutea vorfinden. Er verwies ferner auf die anatomischen Untersuchungen, besonders von Niemetschek und Nettleship, welche ebenfalls die theilweise Gefässhältigkeit der Macula lutea ergaben. Endlich zeigt auch die entoptische Beobachtung der Retinalgefässe, dass, wie Leber sagt, „die Macula lutea gefässhaltig ist und nur die Fovea centralis der Gefässe völlig entbehrt.“ Auf diesem letzteren Wege fand Leber den horizontalen Durchmesser der gefässlosen Stelle seines eigenen rechten Auges auf 430 *mm* vom Knotenpunkte des Auges projiciert, gleich 12 *mm*, woraus sich ein wirklicher Durchmesser von 0·42 *mm* berechnen lässt. Die hiervon so stark abweichenden Maasse des Gerlach-schen Präparates können nach Leber vielleicht ganz durch Faltung der Netzhaut und dadurch bewirkte Verziehung der Capillarschlingen, vielleicht — wenigstens theilweise — durch den Umstand erklärt werden, dass das Präparat von einem 4jährigen Kinde stammt, indem es möglich wäre, dass in den ersten Lebensjahren die Verhältnisse von denen beim Erwachsenen verschieden sind.

Durch die beiden soeben erwähnten Abhandlungen über diesen Gegenstand wurde O. Becker (53) veranlasst, die Abbildung eines vorzüglich gelungenen Injectionspräparates der Retina, das von H. Müller angefertigt worden war, und in dessen Sammlung von Becker

gefunden wurde, zu veröffentlichen. In diesem Präparate hatte die gefässlose Stelle die Form eines liegenden Rechteckes mit eingebogenen Seiten, von denen die längeren 0·41, die kürzeren 0·31 *mm* maassen. Auch Becker zieht aber ausserdem noch die entoptische Beobachtung heran. Er führt an, dass bereits Michaelis im Jahre 1838 auf diese Weise die Gestalt und Grösse der gefässlosen Stelle beschrieben und gezeichnet hat, und beschreibt hierauf näher, auf welche Weise er die Capillaren seiner Netzhaut am besten zur Anschauung bringt. Die gefässlose Stelle hat im rechten Auge Beckers die Form eines fast regelmässigen Fünfeckes mit einem Durchmesser von 0·75 *mm*, im linken Auge die eines senkrecht stehenden schmalen Parallelogrammes, dessen senkrechte Diagonale 0·47 *mm*, dessen horizontale Diagonale 0·31 *mm* beträgt. Becker liess diese Untersuchungen von einigen anderen Personen wiederholen und es fanden sich dabei zwar sehr verschiedene Formen der gefässlosen Stelle, aber vollkommen übereinstimmende Maasse.

Denissenko (54) fand an anatomischen Präparaten in der Fovea noch so weit Gefässe als die Molecular- und innere Körnerschicht vorhanden sind. Gerlach jun. (55) zeigte an einem Injectionspräparate, dass nur die Fovea gefässlos ist, und Wadsworth (4) sah an einem anatomischen Präparate der Maculagegend noch 0·376 *mm* vom Centrum der Fovea Capillaren.

Auch v. Reuss (56) und Parent (57) bestritten aufgrund ophthalmoskopischer Beobachtungen die Gefässlosigkeit der ganzen Macula.

Endlich hat Mayershausen (58) nochmals mittels der entoptischen Beobachtung die Grösse der gefässlosen Stelle in seinem linken Auge bestimmt und fand dieselbe in der Form eines unregelmässigen Dreieckes, dessen horizontaler durch den Fixationspunkt gehender Durchmesser nach der Rechnung 0·399 *mm*, der verticale durch den Fixationspunkt gehende Durchmesser aber 0·45 *mm* beträgt.

Im Wesentlichen mit den vorhergehenden übereinstimmenden Angaben machen auch Wolffberg (59) und Nuel (60).

In der neuesten Zeit endlich hat Schaper (11) in einer sehr gut conservierten Retina Capillargefässe noch in einer Entfernung von 0·151 *mm* vom Centr um der Fovea angetroffen. Schaper bemerkt, dass der Durchmesser der gefässlosen Stelle ein sehr wechselnder sein muss und abhängig von der Menge der im Centrum der Fovea nach vorhandenen Ganglienzellen. Doch kann eben, wie wir oben

(Seite 60) bereits erwähnt haben, seiner Messung ebensowenig wie jenen aller anderen Autoren ein Wert beigelegt werden, da eben alle nicht gut conservierte Netzhäute untersucht haben.

Es ist mir nun schon seit langem aufgefallen, dass sich die Gefässvertheilung in meiner Netzhaut, wie ich sie mir durch die Methode der entoptischen Beobachtung zur Anschauung bringe, ganz anders verhält, als dies von allen übrigen Beobachtern angegeben wird.

Ich will zunächst vorausschicken, dass meine Augen nach Correction eines leichten Astigmatismus eine übernormale Sehschärfe haben. (Rechtes Auge: S $^5/_5$?; mit 0·5 D concav. cyl. Axe 20^0 T—S $^5/_4$; Linkes Auge: S $^5/_5$?; mit 0·5 D concav. cyl. Axe 30^0 T—S $^5/_4$. Der Astigmatismus ist, wie sich durch die Untersuchung mit Javals Ophthalmometer ergibt, ein cornealer.)

Blickt man gegen eine helle Fläche, eine weisse Wolke, ein weisses gut beleuchtetes Papier oder gegen eine Lampenglocke aus Milchglas, und bewegt ein feines Diaphragma in leicht kreisenden oder zitternden Bewegungen vor dem Auge, so kann man bekanntlich die feinsten Capillargefässe der Retina mit voller Deutlichkeit wahrnehmen. Wenn ich diesen Versuch anstelle, so kann ich *constatieren, dass eine eigentliche grössere gefässlose Stelle der Retina weder in meinem rechten, noch in meinem linken Auge existiert.* Die Maschen der Capillargefässe sind in der unmittelbaren Umgebung des Fixationspunktes nur etwas grösser als in grösserer Entfernung von demselben. Während am rechten Auge die Zahl dieser grösseren Capillarmaschen, in deren einer der Fixationspunkt liegt, eine ziemlich grosse ist, so dass die spärliche Vertheilung in der Umgebung des Fixationspunktes ziemlich deutlich in die Augen fällt, ist dies am linken Auge nur wenig ausgesprochen.



Fig. 3.

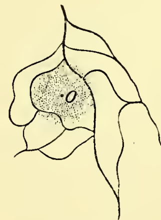


Fig. 4.

Ich habe versucht in Fig. 3 die centralsten Schlingen des rechten Auges, in Fig. 4 jene des linken Auges darzustellen. Bei o liegt

der Fixationspunkt. Ich habe die weiter peripher gelegenen Gefässmaschen nicht mehr gezeichnet, da es mir trotz sehr vielfacher, angestrengter Versuche nicht möglich war, dieselben mit einer über allen Zweifel erhabenen Genauigkeit zu Papier zu bringen. Im linken Auge sehe ich links vom Fixationspunkt einen minimalen ganz scharf begrenzten dunklen Punkt, der sich mit den Gefässchatten zu verschieben scheint.

Auf eine Entfernung von 558 *mm* vom Knotenpunkte des Auges projiciert (Fig. 3 und 4) misst die den Fixationspunkt umgebende Gefässschlinge am rechten Auge in horizontaler (durch den Fixationspunkt gehender) Richtung 4·9 *mm*, in verticaler Richtung 10·7, am linken Auge bei der Projection auf dieselbe Entfernung in verticaler Richtung 7·4 *mm*, in horizontaler Richtung 7·7. Es ergibt dies folgende Dimensionen der Capillarschlingen in der Retina: am rechten Auge in horizontaler Richtung 0·13 *mm*, in verticaler 0·28 *mm*; am linken Auge in horizontaler Richtung 0·2 *mm*, in verticaler 0·19 *mm*. Es beträgt somit die geringste Entfernung der Capillargefässe von der Mitte der Fovea in meinen beiden Augen bloss 0·065 *mm*, die grösste 0·14 *mm*.

Vergleichen wir diese Maasse mit der von Becker (53) gegebenen Abbildung des H. Müller'schen Injectionspräparates, so können wir auch die in meinem rechten Auge den Fixationspunkt umgebende Masche des Capillargefässnetzes nicht als sehr gross bezeichnen. Nach der in 50facher Vergrösserung des Präparates dargestellten Fig. 2 der Becker'schen Arbeit finden sich in der Umgebung der gefässlosen Stelle jenes Auges auch Gefässchlingen, deren längerer Durchmesser bis 0·24 *mm* beträgt. In einiger Entfernung von der gefässlosen Stelle sind dagegen die Maschen des Capillargefässnetzes durchwegs enger, ganz so wie ich das in meinen Augen ebenfalls wahrnehmen kann.

Es ist gewiss keine gewagte Annahme, wenn ich es mit der soeben dargelegten Vertheilung der Netzhautgefässe in meinen Augen in Zusammenhang bringe, dass ich die von Vierordt, Purkinje, Helmholtz u. A. beschriebene Erscheinung der Blutbewegung in den Netzhautgefässen mit grosser Leichtigkeit wahrzunehmen imstande bin.

Es erscheint somit erwiesen, dass es normale Augen gibt, in denen eine gefässlose Stelle am Grunde der Fovea nicht existiert und die Capillarschlingen daselbst nur einen etwas grösseren Durchmesser haben.

2. Der runde Schatten in der Gegend des Fixationspunktes.

Helmholtz (61) gibt an, dass, wenn man die Aderfigur mittels einer engen Oeffnung in einem dunklen Schirme hervorbringt, in der gefässlosen Stelle ein runder Schatten sich bei den Bewegungen des Diaphragmas herumbewegt. Wolffberg (59) erwähnt, dass er in der Beobachtung der Zapfenmosaik, besonders wenn das Licht nicht intensiv genug war, durch einen vor dieselbe gelagerten Schatten gestört wurde.

Ruete (62) dagegen beschreibt bei derselben Methode der entoptischen Untersuchung einen kleinen hellen Fleck, den er excentrisch nach oben in der gefässlosen Stelle sieht und hält denselben für ein Abbild der Krystallinse, eine Erklärung, welcher Meissner (63) nicht zustimmen kann. Er sieht in der Mitte der gefässlosen Stelle oder etwas excentrisch eine ganz kleine helle, an der einen Seite von einem schmalen dunklen Saume umgebene Stelle, die sich wie ein kleines Knöpfchen ausnimmt.

Blicke ich durch eine kleine Oeffnung in einem Stück Carton auf eine helle Fläche, z. B. ein Blatt weisses Papier und bewege diese Oeffnung vor dem Auge hin und her, so sehe ich ausser der Aderfigur einen den Fixationspunkt umgebenden rundlichen Schatten. Derselbe bewegt sich bei den Bewegungen des Diaphragmas so wie der Gefässschatten in derselben Richtung wie das Diaphragma, nur sind seine Excursionen etwas grösser als die der entoptischen Bilder der Netzhautgefässe.

Dieser Schatten, den ich auch in Fig. 3 und 4 in seiner Form und Ausdehnung angedeutetet habe, ist undeutlich begrenzt, am rechten Auge leicht quer oval, am linken Auge nahezu kreisrund. Er misst, so weit er sich bei seiner undeutlichen Begrenzung überhaupt messen lässt, auf 558 *mm* projiciert, am rechten Auge, nach einem aus mehreren Messungen gefundenen Mittelwerte, im horizontalen Durchmesser etwa 12·2 *mm*, im verticalen 9·2 *mm*, woraus seine wirklichen Durchmesser auf der Netzhaut sich auf 0·32 *mm*, resp. 0·24 *mm* berechnen lassen. Am linken Auge erscheint er mir fast ebenso gross wie die centralste, den Fixationspunkt umgebende Gefässschlinge, würde also auf der Netzhaut etwa 0·2 *mm* messen. Es ist zu bemerken, dass dieser Schatten mir nur dann deutlich erscheint, wenn das durch die feine Oeffnung in mein Auge dringende Licht nicht zu intensiv ist.

Verschiebe ich das Diaphragma bei völlig ruhig gehaltenem Auge so weit als möglich nach rechts, so dass der Fixationspunkt knapp neben dem linken Rande des kreisrunden Gesichtsfeldes liegt, so erscheint links von dem Schatten ein ungefähr ebenso grosser, verwaschen begrenzter und ebenso gestalteter heller Fleck. Hält man dann in der Verschiebung des Diaphragmas plötzlich inne, so verschwindet sehr bald der dunkle Schatten und für eine kurze Zeit bleibt nur der helle Fleck sichtbar, bis auch dieser erblasst. Es gewinnt dabei sehr oft den Anschein, als ob man einen hellen, einerseits von einem dunklen Schatten begrenzten Fleck sehen würde, ja manchmal ist der helle Fleck so auffallend, dass er die Aufmerksamkeit des Beobachters allein auf sich zieht, so dass dieser den dunklen daneben liegenden Schatten kaum wahrnimmt.

Macht man mit dem Diaphragma kreisende Bewegungen, so nimmt natürlich der dunkle Schatten dieselbe Bewegung an und der helle Fleck folgt demselben stets, so dass er ebenfalls eine kreisförmige Bahn beschreibt.

Die Erklärung dieses runden Schattens ist nun in der lichtzerstreuenden Wirkung der Foveola gegeben. Hält man eine Concavlinse in einiger Entfernung vor einen hellen Schirm, so dass das Licht einer entferntstehenden Flamme durch die Linse auf den Schirm fallen kann, so nimmt man bekanntlich einen dunklen runden Schatten der Linse wahr, welche von einem hellen Ring umgeben ist. Dieser helle Ring ist desto breiter, je grösser der Abstand der Linse von dem Schirme ist. Er wächst aber bei zunehmender Entfernung der Linse vom Schirme viel rascher als der Schatten der Linse und wird lichtschwächer, während der Schatten der Linse dabei immer dunkler, aber verschwommen begrenzt erscheint. Der helle Ring rührt davon her, dass daselbst der Schirm gleichzeitig von direct von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen und auch von den durch die Concavlinse verstreuten Lichtstrahlen getroffen wird, während im Bereiche des Linsenschattens bloss diese letzteren vorhanden sind. Dieser Schatten erscheint mitunter so intensiv, dass es fast den Eindruck macht, als ob durch die Linse überhaupt kein Licht gehen würde. Doch kann man sich leicht überzeugen, dass dies nicht der Fall ist, wenn man den Schatten eines für Licht undurchlässigen Körpers mit diesem Linsenschatten vergleicht. Der erstere erscheint dann viel dunkler. Bringt man die Concavlinse in einem ihrem Durchmesser

entsprechenden Ausschnitte eines grösseren Pappendeckels an, so sieht man auf dem in geringer Entfernung von der Linse gehaltenen weissen Schirm bloss eine helle, matt erleuchtete Scheibe, eben jenes von der Concavlinse verstreute Licht. Der Durchmesser dieser Scheibe muss bei zunehmendem Abstande der Linse von dem weissen Schirm sehr rasch grösser und lichtschwächer werden, weil sie die Basis eines Strahlenkegels bildet, dessen Spitze im Brennpunkte der Linse liegt. Deshalb muss, wenn die Linse frei vor den hellen Schirm gehalten wird, jener helle Ring auch schnell lichtschwächer und grösser werden, wenn wir die Linse von dem hellen Schirme entfernen und gleichzeitig der Linsenschatten dunkler.*)

Es fragt sich nun, ob die Grösse des Schattens, wie wir ihn auf entoptischem Wege wahrnehmen, mit der Grösse der Foveola übereinstimmt. Zu diesem Behufe müssen wir den Strahlenverlauf zur Foveola, wie er bei der erwähnten Methode zur Hervorbringung der entoptischen Erscheinungen stattfindet, etwas näher ins Auge fassen.

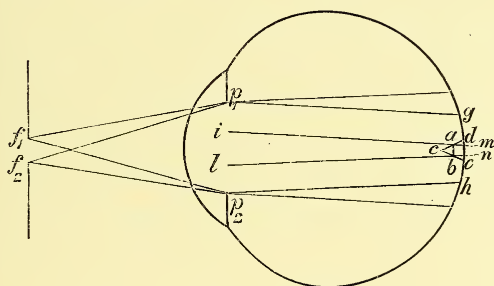


Fig. 5.

In Fig. 5 wäre f_1 f_2 eine stenopaeische Lücke, welche sich im vorderen Brennpunkte des Auges befindet. Die von ihr ausgehenden Lichtstrahlen sind natürlich im Glaskörper parallel. Die Retina an ihrer dünnsten Stelle am Grunde der Fovea mit der sie daselbst nach vorne begrenzenden Foveola a b, können wir uns als eine planconcave Linse vorstellen, welche am Grunde des Auges der Chorioidea anliegt. Von der Pupille p_1 p_2 fallen Bündel paralleler Strahlen auf a b. Ist nun c der Brennpunkt der concaven Fläche a b,

*) Auf dem Verhältnisse des Durchmessers dieses hellen Ringes zum Durchmesser der Concavlinse beruht bekanntlich auch eine Methode, die Brennweite von Concavlinsen zu bestimmen (siehe Gerolds ophthalm. Physik, I. Seite 290.)

so werden die auf a b auffallenden Strahlen nach der Brechung durch die concave Fläche a b einen Strahlenkegel bilden, dessen Spitze in c, dessen Basis auf der Aussenfläche der Retina, den Durchmesser d e hat. (Es ist dies insoferne nicht ganz genau, als man, um die Basis jenes Strahlenkegels zu finden, welche nach der Brechung durch die concave Fläche a b die äussere Oberfläche der Retina trifft, in Rechnung ziehen muss, dass nicht bloss Strahlen in der Richtung der optischen Achse des Auges auf a b fallen. Die äussersten Strahlen, welche nach a b gelangen, sind einerseits jene, welche in der Richtung von p_1 g verlaufen, andererseits jene, welche p_2 h parallel sind. Durch die Brechung dieser Strahlen entstehen 2 Strahlenkegel, die von 2 verschiedenen vor a b gelegenen Punkten divergieren, wodurch die Basis des gesammten, nach der Brechung durch a b auf die äussere Oberfläche der Retina fallenden Lichtkegels etwas vergrössert wird. Dies ist in der Figur der einfacheren Darstellung wegen vernachlässigt.)

Wollen wir nun wissen, wie gross der durch die concave Fläche a b erzeugte Schatten ist, welcher dem Schatten einer vor einem Schirm gehaltenen Concavlinse entspricht, so müssen wir die Linien i m || p_1 g und l n || p_2 h ziehen. Es ergibt sich daraus, dass das Stück m n an der äusseren Oberfläche der Retina bloss durch das von a b zerstreute Licht beleuchtet wird. m n ist also der „Schatten“. Im Bereiche eines Ringes, welcher in der Figur im Durchschnitte durch d m und n e dargestellt ist, wird die äussere Oberfläche sowohl von dem Lichte getroffen, welches direct von der Pupille $p_1 p_2$ kommt, als auch von jenem Lichte, welches ebenfalls von $p_1 p_2$ ausgeht, aber durch die concave Fläche a b zerstreut wird. d m — n e ist also der helle Ring, welcher den „Schatten“ m n umgibt.

Aus dieser Darstellung geht hervor, dass der durch die concave Fläche erzeugte Schatten etwas kleiner sein muss als die concave Fläche selbst, wie das eben durch die Grösse der Lichtquelle im Verhältnis zur Fläche a b bedingt ist. Bei der geringen Entfernung von etwa 0·1 *mm*, in welcher die Foveola vor der äusseren Oberfläche der Netzhaut liegt, kann der Schatten der Foveola nur um sehr wenig kleiner sein, als die Foveola selbst. Meine anatomischen Untersuchungen haben ergeben, dass der Durchmesser der Foveola in den untersuchten Fällen zwischen 0·12 und 0·3 *mm* schwankt und auch die ophthalmoskopische Beobachtung des Fovealreflexes zeigt, dass der Krümmungsradius und damit auch wohl der Durchmesser der Foveola sehr bedeutende indivi-

duelle Verschiedenheiten aufweist. Die aus den entoptischen Beobachtungen berechnete Grösse des Schattens (in meinem rechten Auge 0·32 *mm* im horizontalen und 0·24 *mm* im verticalen Durchmesser, am linken Auge 0·2 *mm* im Durchmesser) ergibt also mit der Grösse der Foveola eine völlig ausreichende Uebereinstimmung.

Es fragt sich nur noch, warum man entsprechend dm — ne keinen hellen Ring um den dunklen Schatten wahrnimmt. Es dürfte der Grund dafür darin zu suchen sein, dass die Foveola am Grunde der Fovea liegt, welche selbst wieder eine Concavität nach vorne bildet. Nur hat diese Concavität keine annähernd sphärische Krümmung, sondern es senkt sich die Oberfläche der Retina allmählich in Form einer schiefen Ebene, im sogenannten Clivus, zum Grunde der Fovea ein. Immerhin werden die in der Umgebung der Foveola auf die innere Oberfläche der Retina im Bereiche dieses Clivus auffallenden Lichtstrahlen in ähnlicher Weise gebrochen, wie durch eine Concavlinse, also auch zerstreut. In manchen Augen zeigt endlich die Fovea wirklich eine deutlich annähernd sphärische Krümmung (Fig. 1). Diese lichtzerstreuende Wirkung der Fovea, welche sich jener der Foveola unmittelbar anschliesst, macht es verständlich, dass der helle Ring um den Schatten der Foveola fehlt.

Die Excursion des Schattens bei den Verschiebungen des Diaphragmas sind bei mir etwas grösser als die der Aderfigur. Es erklärt sich das daraus, dass die Gefässe ja unter der inneren Oberfläche der Retina liegen müssen.

Der helle Fleck, welcher neben dem Schatten bei seitlicher Verschiebung des Diaphragmas auftritt, ist offenbar nichts anderes als das negative Nachbild des Schattens.

Ich habe den Schatten der Foveola auch an einem Modelle demonstriren können. Dasselbe war aus einer Glaskugel gefertigt, an der vorne eine Blechröhre angesetzt war, in welcher, durch ein Uhrglas nach vorne zu verschlossen, eine zweite Röhre aus- und eingeschoben werden konnte. Das Ganze hatte annähernd die Dimensionen des Auges in 10facher Vergrösserung. An dem hinteren Theile der Glaskugel war in einer Metallfassung eine matte Glasscheibe und dieselbe berührend eine durchsichtige Glasplatte angebracht, welche vorn einen kleinen Abschliff von der ungefähren Grösse und Krümmung der Foveola hatte. Das ganze Modell wurde mit Wasser gefüllt. Brachte man nun in den vor-

deren Brennpunkt dieses Apparates einen Schirm mit einer Oeffnung, auf welche das Licht einer Gasflamme durch eine grosse Linse in entsprechender Weise concentriert wurde, so konnte man, wenn man die Glaskugel von rückwärts betrachtete, auf jener matten Scheibe, die die Glaskugel nach rückwärts abschloss, den Schatten der Foveola und seine Bewegungen sehr deutlich darstellen.

Es ist kein Zweifel, dass der von mir im vorstehenden beschriebene Schatten derselbe ist, den Helmholtz und Wolffberg beobachtet haben. Ob der kleine helle Feck, den Ruete erwähnt, oder die helle, an der einen Seite von einem schmalen dunklen Saume umgebene Stelle, die Meissner gesehen hat, mit dem Schatten der Foveola etwas zu thun hat, lässt sich nicht genau bestimmen, da Angaben über die Grösse oder über etwaige Bewegungen der von jenen Autoren gesehenen Erscheinungen fehlen. Immerhin wäre es aber möglich, dass diese beiden Beobachter das negative Nachbild des Foveolaschattens wahrgenommen haben, weil, wie oben erwähnt, dasselbe manchmal so auffallend ist, dass der Schatten daneben unserer Aufmerksamkeit fast entgehen kann.

Dass nicht alle Personen den Schatten der Foveola sehen, ist in den zahlreichen individuellen Verschiedenheiten, wie sie in dem Relief der inneren Netzhautoberfläche in der Gegend der Macula sich constatieren lassen, begründet, von denen wir oben auf Seite 7 u. ff. bereits gesprochen haben (siehe auch (7), Seite 226 u. ff.). Der daselbst erwähnte Fovealreflex zeigt eine sehr verschiedene Helligkeit und es ist in dieser Beziehung natürlich die Glätte der inneren Netzhautoberfläche, sowie der Unterschied zwischen dem Brechungsindex der Retina und jenem des Glaskörpers zu berücksichtigen. Die geringere Glätte der Netzhautoberfläche bei alten Leuten, dürfte es uns auch hauptsächlich erklären, warum wir die Netzhautreflexe überhaupt und auch den Fovealreflex bei Leuten im vorgerückten Lebensalter nicht mehr wahrnehmen (7, Seite 68). Alle die erwähnten Verhältnisse kommen aber ebensowohl bei der Spiegelung an der inneren Netzhautoberfläche als auch bei der Brechung der Lichtstrahlen beim Uebergange aus dem Glaskörper in die Netzhaut in Betracht.

3. *Der sogenannte Schatten der Netzhautgrube und die helle von ihm umgebene Stelle.*

Burow (64) hat in der Mitte des Gesichtsfeldes, entsprechend dem Fixationspunkte eine helle quer-elliptische Scheibe gesehen und ab-

gebildet. Dieselbe erscheint, wenn man seitlich vom Auge eine Kerzenflamme hin- und herbewegt und wird an dem der Flamme zugewendeten Rande durch einen dunklen halbmondförmigen Schatten eingesäumt. Auch Meissner (63) erwähnt dieselbe Erscheinung, wogegen H. Müller (65) die helle Scheibe gar nicht sehen kann, Helmholtz (61) aber nur den halbmondförmigen Schatten.*) Olshausen (66) beschreibt eine blutrothe Sichel an der Aussenseite des ebenfalls sichelförmigen Schattens.

Die Lage des Schattens zur Richtung des Lichteinfalles hat Burow veranlasst, an Stelle der Fovea eine Vorragung der Netzhaut in den Glaskörper anzunehmen. H. Müller dagegen gab die bereits von Meissner angedeutete Erklärung für die Entstehung der Gefässschattenfigur, dass als Lichtquelle für die entoptischen Erscheinungen bei der erwähnten Methode nicht die vor dem Auge bewegte Flamme, sondern das Bild, das von dieser Flamme durch die brechenden Medien des Auges auf den peripheren Theilen der Netzhaut entworfen wird, anzusehen ist. Auf dieses Flammenbild als gleichsam secundäre Lichtquelle lassen sich auch alle Eigenthümlichkeiten der Bewegungen der Gefässfigur, wie sie bei den Bewegungen der Flamme zur Beobachtung kommen, zurückführen. Doch soll auf diese hier nicht weiter eingegangen werden. H. Müller hält nun den halbmondförmigen Schatten für den Schatten der Netzhautgrube und die helle Scheibe für den Ausdruck der Verdünnung und grösseren Durchsichtigkeit der Netzhaut in der Mitte des gelben Fleckes. Er sagt, dass eben gerade die erwähnte Methode der entoptischen Beobachtung besonders geeignet ist, diesen Schatten zu zeigen, „da bei ihr die Lichtquelle weiter rückwärts und seitlich von der Fovea centralis erzeugt wird als bei den anderen Methoden, wo das Licht die Grube mehr von vorne her beleuchtet“. Die helle Scheibe und der Schatten bewegen sich mit den Gefässschatten und auch Helmholtz, der bloss den Schatten, nicht die helle Scheibe sieht, kann diese Bewegungen an dem Schatten wahrnehmen, indem der Fixationspunkt bei ihm „immer an dem dem Lichte zugewendeten Theile des Randes der hellen Scheibe liegt, wenn er den halbmondförmigen Schatten seines Auges

*) In Helmholtz's physiolog. Optik, I. u. II. Aufl., ist die Abbildung Burow's so abgedruckt, dass der in Wirklichkeit quer liegende längere Durchmesser der ovalen Scheibe senkrecht steht.

zur Scheibe ergänzt denkt.“ Ueber die Grösse der Scheibe gibt Meissner an, dass sie ihm grösser erscheint, als die gefässlose Stelle, welche man bei den Bewegungen einer feinen Oeffnung vor dem Auge bemerkt.

Da die Fovea centralis überhaupt viel grösser, der Winkel, unter welchem die innere Netzhautoberfläche im Bereiche der Fovea zum Grunde derselben abfällt, viel kleiner ist, als man früher angenommen hatte, so fragt es sich, ob die oben angeführte Erklärung der hellen Stelle am Fixationspunkte und des dunklen Schattens an ihrem Rande auch mit den neugewonnenen Thatsachen vereinbar ist. Bei einem Durchmesser der Fovea, der jenem der Papille gleichkommt oder ihn sogar übertrifft, müssen natürlich die Bedingungen zum Auftreten eines Schattens, den der Rand der Fovea auf die äussere, lichtpercipierende Schichte der Retina wirft, ganz andere sein, als wenn der Durchmesser der Fovea kaum $^1/_3$ des Papillendurchmessers betragen würde.

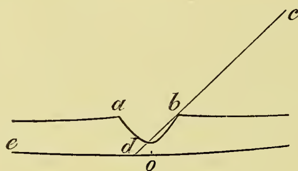


Fig. 6.

Ich habe zunächst in Fig. 6 einen meridionalen Durchschnitt durch das Auge in 20facher Vergrösserung gezeichnet und am hinteren Ende der optischen Achse die Fovea in derselben Vergrösserung dargestellt, u. zw. zunächst unter der Annahme, dass, den alten Angaben folgend, der Durchmesser der Fovea 0·4 *mm* beträgt, die Dicke der Retina am Grunde der Fovea 0·08 *mm*. Als Dicke der Retina am Rande der Fovea aber nahm ich 0·245 *mm* an, jenes Maass, das ich am temporalen Rande der Fovea an einem Schnitte durch die Fovea gefunden hatte (Siehe (7), Seite 168). Ich wählte absichtlich diese Stelle und diesen Fall, wo die Retina am Rande der Fovea dünner gefunden wurde als in anderen Augen, da, wie sich dies aus den folgenden Betrachtungen ergeben wird, der Schatten der Netzhautgrube sich leichter auf die von H. Müller angegebene Art erklären lässt, wenn die Netzhaut am Rande der Fovea nicht so dick, der Abfall der inneren Oberfläche der Retina zum Grunde der Fovea also weniger steil war.

Die Fig. 6 zeigt den Theil des 20fach vergrösserten Augendurchschnittes, welcher die Fovea darstellt. a b ist die Fovea, o die

dem Fixationspunkte entsprechende Stelle an der äusseren Netzhautoberfläche. Wenn nun der Rand der Netzhautgrube einen Schatten auf die lichtpercipierende Schichte der Retina werfen soll, so ist dies nur möglich, wenn das Licht etwa in der Richtung c b d auf die Retina fallen würde. Das Licht würde dabei von einem etwas hinter dem Aequator liegenden Theile der Bulbuswand kommen. Es stellt sich heraus, dass der Schatten der Netzhautgrube über den Fixationspunkt hinüber fallen müsste, während doch Helmholtz, wie oben erwähnt, sagt, dass bei ihm der Fixationspunkt an dem dem Lichte zugewendeten Theile des Randes der hellen Scheibe liegt, wenn man sich eben den halbmondförmigen Schatten zur Scheibe ergänzt denkt.

Auch mit der Erklärung der hellen Scheibe um den Fixationspunkt, als hervorgerufen durch die Verdünnung der Netzhaut daselbst, kann man sich unter diesen Verhältnissen nicht einverstanden erklären. Das Licht, welches so schief auf die Netzhaut trifft, dass es den Schatten der Netzhautgrube erzeugen kann, würde eigentlich nur auf die eine Hälfte der Fovea fallen. Die helle Stelle um den Fixationspunkt kann nach H. Müller nur dadurch entstanden gedacht werden, dass das Licht, welches auf die äussere Oberfläche der Retina, etwa zwischen *d* und *e* gelangt, den dünnsten Theil der Retina zu passiren hätte. Der halbmondförmige Schatten umfasst ja auch nach Burow den Rand der hellen Scheibe. Die Figur zeigt aber, dass nur jenes Licht, welches unmittelbar neben d (links von d) auf die äussere Oberfläche der Retina kommt, durch eine dünne Stelle der Netzhaut geht. Da die Netzhaut neben dem Grunde der Fovea aber wieder sehr rasch an Dicke zunimmt, so wird das Licht, welches durch die Fovea geht und etwas nach links von d zur lichtpercipierenden Schichte der Netzhaut tritt, schon eine bedeutend dickere Partie der Retina zu durchsetzen haben.

Die in der Zeichnung vergrössert wiedergegebenen anatomischen Verhältnisse würden es also nur erklären, dass man unmittelbar neben dem dunklen Schatten der Netzhautgrube eine helle Stelle sieht, welche aber sehr rasch wieder in jene Beleuchtung übergehen müsste, wie sie auch in grösserer Entfernung vom Fixationspunkte durch das die Netzhaut durchdringende Licht erzeugt wird. Niemals könnte man aber die Bildung einer hellen Scheibe verstehen, welche von einem dunklen halbmondförmigen Schatten umsäumt wird, wie dies Burow beschreibt. Auch Olshausen hat bereits darauf aufmerksam

gemacht, dass der halbmondförmige Schatten der Netzhautgrube sich unter diesen Umständen nicht erklären lässt, dass vielmehr die Neigung der Foveawände eine viel geringere sein muss.



Fig. 7.

In Fig. 7 ist ebenfalls in 20facher Vergrösserung die Fovea dargestellt, wie sie in Wirklichkeit in jenen Fällen beschaffen ist, wo kein eigentlicher Fundus foveae vorhanden ist, sondern wo der Clivus direct in die Foveola übergeht. Es ist der Fall gewählt, wo die Fovea denselben Durchmesser wie die Papille hat. Die Maasse sind folgende: Durchmesser der Fovea a b (in horizontaler Richtung) = 1·5 *mm*, Durchmesser der Foveola = 0·2 *mm*, Dicke der Retina am Rande der Fovea = 0·25 *mm*. Die Neigung des sogenannten Clivus beträgt etwa 16^0; o ist die dem Fixationspunkte entsprechende Stelle auf der äusseren Oberfläche der Retina.

Lichtstrahlen, welche in der Richtung c b auf den Rand der Fovea auffallen, könnten allerdings einen Schatten der Netzhautgrube auf der äusseren Oberfläche der Retina erzeugen, derselbe würde aber auch und sogar sehr weit über den Fixationspunkt fallen. Ausserdem würde der Punkt, von dem die Strahlen in diesem Falle herkommen müssten, wie sich aus der übrigen (in der Figur nicht mehr dargestellten) Zeichnung ergibt, nicht wie dies von H. Müller angenommen und gezeichnet wird, auf den seitlichen Theilen der Netzhaut, sondern sehr weit hinten liegen, nur etwa 6·5 *mm* oder 4 Papillendurchmesser von der Mitte der Fovea entfernt. Es erhellt aus der Figur, dass auch hier die Bedingungen zur Wahrnehmung einer hellen Stelle, welche von einem dunklen Schatten umgeben wird, nicht gegeben sind.

Anders verhält sich die Sache dann, wenn die Fovea sehr flach gebaut ist und einen sehr grossen Fundus foveae hat, sowie dies bereits in Fig. 1 dargestellt wurde.

Fig. 8 gibt diesen Fall in einer Umrisszeichnung in 20facher Vergrösserung. Der Durchmesser der Fovea ist 2·0 *mm*, der Durchmesser des Fundus foveae 0·7 *mm*. Hier kann nun in der That das in der Richtung cb auf die Fovea fallende Licht fast den ganzen

Fundus foveae durchdringen. Der Schatten der Netzhautgrube reicht bis zum Fixationspunkte (o) und der Stelle g o entsprechend, wo die Netzhaut dünn ist und wo gleichzeitig die Zapfenfaserschichte in

Fig. 8.

dem oben auf Seite 33 angedeuteten Sinne fehlt, wird eine helle Stelle im Gesichtsfelde erscheinen, die eben von dem dunklen halbmondförmigen Schatten eingefasst wird.

Die helle Stelle im Gesichtsfelde würde also etwa dem dunklen in der Mitte der Fovea gelegenen Fleck entsprechen, den wir bei der ophthalmoskopischen Untersuchung sehen. Doch ist diese Stelle entoptisch nur dann wahrnehmbar, wenn gleichzeitig die Fovea sehr gross, flach gebaut ist und einen grossen Fundus foveae hat, während der dunkle Fleck in der Mitte der Fovea dem mit den Augenspiegel Beobachtenden auch in anderen Fällen sichtbar ist.

Was die Entstehung des Schattens selbst anbelangt, so wäre nur noch ein Einwand zu erledigen. Man könnte sagen: Die Netzhaut (wir meinen hier nur den dem inneren Blatte der secundären Augenblase entsprechenden Theil der Retina mit Ausschluss des Pigmentepithels) ist ja durchsichtig und kann daher einen Schatten im gewöhnlichen Sinne nicht erzeugen. Nun ist die Netzhaut nicht vollständig durchsichtig, wie dies die Augenspiegeluntersuchung recht deutlich zeigt. Die Farbe des Pigmentepithels und der Chorioidea erscheint nur dort völlig ungetrübt, wo die Retina am Grunde der Fovea am dünnsten und für die Durchleuchtung mit dem Augenspiegel am geeignetsten ist. Dies ist eben der erst vorhin erwähnte dunkle Fleck in der Mitte der Fovea. An allen anderen Stellen lagert die Netzhaut — wenn wir hier wieder die Retina ohne das Pigmentepithel in Betracht ziehen — wie ein leichter Schleier über den pigmentierten Membranen des Augenhintergrundes. Diese leichtgraue Trübung, wie sie sich im Augenspiegelbilde im Bereiche der ganzen Retina kund gibt, ist aber durchaus nicht durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der Innen-

fläche der Retina bewirkt. Der Beweis dafür liegt darin, dass wir sie auch noch innerhalb der Fovea wahrnehmen, wo — wie ich gezeigt habe (7) — das an der inneren Oberfläche der Retina regelmässig reflectierte Licht eine solche Richtung nimmt, dass es die Pupille des untersuchten Auges gar nicht verlässt. Es kann sich gerade hier nur um diffus reflectiertes Licht handeln, welches am Grunde der Fovea infolge der oben erwähnten Umstände so wenig intensiv ist, dass wir daselbst die Farbe der unterliegenden Theile unverändert wahrnehmen können. Die Retina kann also am Rande der Fovea ganz gut einen Schatten werfen.

Es kommt aber noch ein zweiter Umstand in Betracht. Der Brechungsindex der Retina ist erheblich von dem des Glaskörpers verschieden, wie die bei jungen Leuten in so grosser Lichtstärke sichtbaren Reflexe an der inneren Netzhautoberfläche zeigen. Wenn also ein Lichtstrahl in der Richtung h i (Fig. 8) auf die innere Oberfläche der Retina trifft, so wird er zum Einfallslothe abgelenkt und gelangt bei k zur äusseren Retinaoberfläche. An den wirklichen Schatten der Netzhautgrube muss sich also noch ein diesem paralleler Streifen anschliessen, in welchem die äussere Fläche der Retina eben infolge dieser Ablenkung der Lichtstrahlen von keinem Lichte getroffen wird. Dadurch wird der Schatten, allerdings gewiss nur sehr wenig, verbreitert.

Ich hatte nun den Schatten der Netzhautgrube, wie er von anderen Beobachtern geschildert wird, trotz sehr zahlreicher Versuche niemals wahrnehmen können. Da ich mir nun nicht denken konnte, dass dies in einem besonderen Baue meiner Fovea begründet sei, verfiel ich auf den Gedanken, dass der Grund, warum manche Personen jene Erscheinung nicht sehen können, darin zu suchen sei, dass aus irgend einem Grunde das vom Augenhintergrunde reflectierte Licht nicht stark genug ist, um den Schatten der Fovea zu entwerfen. Es könnte dies dadurch bedingt sein, dass die Pupille ziemlich enge ist oder dass der Augenhintergrund stark pigmentiert ist oder dass endlich diese beiden Umstände zusammenwirken. In der That würde dies bei mir zutreffen.

Ich habe daher bei durch Homatropin hervorgerufener Mydriasis die Aderfigur mittels Herumbewegen einer Kerzenflamme vor dem Auge hervorgerufen und konnte dann wirklich den Schatten meiner Netzhautgrube mit grosser Deutlichkeit wahrnehmen. Es kann nur die vermehrte Lichtmenge, nicht aber die veränderte Richtung des Lichteinfalles hierbei in Betracht kommen. Denn bei Mydriasis würde

es allerdings gelingen, das Bild der Lichtquelle auf einem, dem Aequator näher gelegenen Theil des Fundus zu entwerfen, doch müsste dann der Schatten der Fovea gerade schmäler sein als dann, wenn das Flammenbild weiter hinten, näher der Fovea zu liegen kommt. Später konnte ich den Schatten auch ohne Pupillenerweiterung aber nur andeutungsweise sehen.

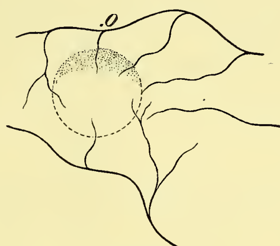


Fig. 9.

In Fig. 9 habe ich den Schatten der Fovea meines rechten Auges sammt den dabei allein sichtbaren mittleren und grösseren Gefässstämmen möglichst naturgetreu abgebildet, u. zw. für die Stellung der Lichtquelle ober der Gesichtslinie. Er ist halbmondförmig, sehr dunkel, nach aussen recht scharf, nach innen nur verschwommen begrenzt und wandert mit der Lichtquelle, der er seine Convexität zukehrt. Eine helle von dem Schatten umgebene Scheibe kann ich nicht wahrnehmen. Der Fixationspunkt liegt im entoptischen Bilde bei mir stets ziemlich weit ausserhalb der Fovea, deren Umkreis dadurch bestimmt werden kann, dass man sich den halbmondförmigen Schatten zu einer Scheibe ergänzt denkt, wie dies in der Figur durch die punktierte Linie angedeutet ist. Er fällt entweder gerade in den Verlauf des im entoptischen Bilde oberhalb der Fovea vorbeistreichenden Gefässes oder selbst noch ober dasselbe nach 0.

Wird der Schatten, der auf eine bestimmte Entfernung projiciert wurde, durch möglichst rasche Bewegung der Kerzenflamme am ganzen Rande der Fovea herumgeführt, so lässt sich der Durchmesser der Fovea, wie er im entoptischen Bilde erscheint, leicht bestimmen. Ich fand denselben, für die Retina berechnet, gleich 0·7 bis 0·9 *mm.*

Da ich keine helle Scheibe, an deren Rande der halbmondförmige Schatten erscheinen würde, sehen kann, so ist nach dem obigen anzunehmen, dass in meiner Fovea kein grosser Fundus foveae existiert, wie dies auch schon deswegen sehr wahrscheinlich ist, weil bei mir

die letzten Capillarschlingen der Mitte der Fovea so nahe liegen, was eben darauf hindeutet, dass die Gehirnschicht in meinen Augen auch noch am Grunde der Fovea gewiss nicht fehlt, wahrscheinlich sogar in ziemlicher Stärke vorhanden ist. Es würden also wohl die in Fig. 7 dargestellten Verhältnisse jenen, wie sie in meinen Augen vorkommen, entsprechen. Aus dieser Figur ist auch ersichtlich, wie es recht wohl möglich ist, dass der Fixationspunkt ausserhalb des Schattens der Fovea in der Richtung der Lichtquelle sich befindet und dass der Schatten eines grösseren ausserhalb der Fovea gelegenen Gefässes e, welches in der Richtung f e vom Lichte getroffen wird, auf die Mitte der Fovea (o) fällt.

Nach allem, was soeben mitgetheilt wurde, muss ich vermuthen, dass der Schatten der Netzhautgrube allen jenen, die denselben für gewöhnlich nicht wahrnehmen können, bei künstlicher Mydriasis sichtbar werden wird. Der sehr schiefe Einfall des Lichtes in die Fovea, bei der überhaupt der Schatten der Fovea bloss enstehen kann, macht es verständlich, dass die Fovea, wie wir sie nach und nach durch kreisförmige Bewegungen des Lichtes um die Gesichtslinie als Achse im entoptischen Bilde umgrenzen können, um sehr vieles kleiner sein muss, als die wirkliche Fovea. Und dennoch ist der Durchmesser der Fovea, wie sie mir nach der Messung im entoptischen Bilde erscheint, noch immer grösser als der Durchmesser der Fovea, wie man ihn nach den bisherigen anatomischen Untersuchungen angegeben hat.

Ich habe dann weiter durch einen Versuch bestimmt, wo das Flammenbild in meinem Auge liegen muss, damit der Schatten der Fovea erzeugt wird. Zu diesem Behufe habe ich mein Auge nach Einträufelung von Homatropin in den Mittelpunkt eines Perimeterbogens gebracht und während ich den Nullpunkt der Theilung fixierte, durch Herumführen einer Kerzenflamme an dem Perimeterbogen bestimmt, unter welchem Winkel gegen die Gesichtslinie das Licht in das Auge fallen muss, damit der Schatten der Fovea wahrgenommen wird. Das Experiment ergab dafür einen Winkel von 20—30°. Sowohl wenn man die Flamme dem Fixationspunkte näher bringt, als wenn man sie von ihm entfernt, verschwindet der Schatten der Fovea. In dem in 20-facher Vergrösserung gezeichneten Augendurchschnitte, dessen hinteren Theil die Fig. 8 darstellt, lässt sich natürlich leicht ermitteln, wo etwa das Flammenbild liegen muss,

damit der Schatten der Netzhautgrube erzeugt werden kann. Zieht man dann den Richtungsstrahl durch den Knotenpunkt, so ergibt sich, dass dieser mit der Gesichtslinie einen Winkel von 24° bildet, eine Uebereinstimmung mit dem Versuchsergebnis, welches die Richtigkeit des oben Dargelegten noch weiter zu bestätigen imstande ist.

Noch wäre endlich eine Erscheinung zu erwähnen. Helmholtz (61) gibt an, dass, wenn er die Lichtquelle der Gesichtslinie nähert, an der Aussenseite des dunklen Schattens ein heller Streifen auftritt, der seiner Meinung nach von Licht herrührt, „welches von hinten, von der Netzhautseite her auf die Oberfläche der Netzhautgrube gefallen und dort reflectiert ist“, wie dies Helmholtz in Fig. 101 l. c. erläutert. Es könnte sich dabei bloss darum handeln, dass das Licht, welches bereits in die Retina neben dem Rande der Fovea eingedrungen ist, an der Trennungsfläche zwischen Retina und Glaskörper, u. zw. am Clivus total reflectiert wird. Gegen diese Erklärung scheint mir zu sprechen, dass, wie Helmholtz sagt, der helle Streifen erst dann auftritt, wenn die Lichtquelle der Gesichtslinie genähert wird. Dann rückt aber das Flammenbild auf der Netzhaut der Fovea näher und der Winkel, unter dem das Licht von der Retinaseite her auf den Clivus auffällt, wird ein grösserer, die Bedingungen für die totale Reflexion daselbst ungünstigere, denn es muss jedenfalls der Einfallswinkel für die totale Reflexion beim Uebergange des Lichtes aus der Retina in den Glaskörper ein recht grosser sein. Dagegen wäre es gerade bei der Art, wie dieser helle Streifen zur Beobachtung kommt, möglich, dass derselbe ein negatives Nachbild des Schattens der Netzhautgrube ist. Je mehr man die Lichtquelle, z. B. von der temporalen Seite her, der Gesichtslinie nähert, desto mehr nähert sich das Flammenbild auf der Retina von der nasalen Seite her der Fovea. Damit fällt der Schatten der Fovea auf mehr temporalwärts gelegene Theile der lichtpercipierenden Schichten und es kann dann im entoptischen Bilde temporalwärts, also nach aussen von dem Schatten der Fovea (an der Convexität desselben) ein heller Streifen als negatives Nachbild entstehen, ganz so, wie wir ein solches negatives Nachbild bei dem Schatten der Foveola haben entstehen sehen (Siehe Seite 81).

Die blutrothe Sichel, die Olshausen ganz constant nach aussen von dem Schatten der Fovea sieht, kann nicht auf diese Weise

erklärt werden. Ich möchte glauben, dass man in diesem Falle an eine besonders stark ausgeprägte wallartige Verdickung der Retina denken könnte, durch welche das auf die innere Oberfläche der Retina auffallende Licht wie durch eine Convexlinse auf die lichtempfindende Schichte concentriert wird.

4. Die Haidinger'schen Polarisationsbüschel.

Literatur.

Die Haidinger'schen Polarisationsbüschel wurden von ihrem Entdecker zuerst in der Weise zu erklären versucht (67), dass das Auge direct die Schwingungen der Aethertheilchen wahrnimmt. Die gelben Büschel sollten der Ausdruck der Schwingungsebene der Lichtwellen sein, was Haidinger sogar zu der Annahme veranlasst hat, dass die Schwingungsebene eines durch eine Turmalinplatte polarisierten Lichtstrahles nicht der krystallographischen Hauptachse des Turmalins parallel ist, sondern darauf senkrecht steht.

Moigno (68) meinte, dass, wenn das weisse Licht durch Polarisation „plan" wird, das Auge zuerst den Strahl, welcher die grösste Intensität hat, nämlich den gelben wahrnimmt, während Silbermann (69) betreffs der Erklärung der Polarisationsbüschel an die Doppelbrechung der Linse und an die Structur des Glaskörpers denkt.

Jamin (70) weist darauf hin, dass polarisiertes Licht, wenn es auf eine Säule geneigter Glasplatten fällt, sich inbezug auf die Brechung, welche es an der Oberfläche des Glases erleidet, verschieden verhält je nach dem Polarisationsazimuth. Die Lichtmenge, welche in die Glasplatte eintritt, ist ein Minimum, wenn die Einfallsebene und die Polarisationsebene zu einander parallel sind, ein Maximum dagegen, wenn die Einfallsebene auf der Polarisationsebene senkrecht steht. Diese Verhältnisse treten auch ein, wenn man aus centrierten concaven oder convexen Linsen eine Säule bildet. Auch im Auge finden vielfache Brechungen des einfallenden Lichtes an der Cornea und an den verschiedenen Schichten der Linse statt. Wenn also senkrecht polarisiertes Licht in das Auge fällt, so wird das gebrochene Licht schliesslich „zwei senkrecht stehende mit ihren Scheiteln im Mittelpunkte zusammenstossende und nach dem Umfange hin breiter werdende dunkle Büschel" darbieten, während in der darauf

senkrechten (horizontalen Richtung) sich zwei helle Büschel von gleicher Gestalt zeigen werden.

Haidinger (71) berichtet ferner über eine von Schrötter geäusserte Ansicht, nach welcher die Polarisationsbüschel durch die Krystalllinse erzeugt werden sollen. Die Linse wäre als doppelbrechender, einachsiger Körper zwischen der lichtpolarisierenden Athmosphäre und dem Glaskörper, der ebenfalls die Eigenschaft, Licht zu polarisieren, haben soll, gelagert, und würde sich so ähnlich verhalten wie eine aus einem einachsigen Körper senkrecht auf die optische Achse desselben geschnittene Platte zwischen zwei über Kreuz liegenden Nicols, nämlich ein dunkles Kreuz mit hellen Ringen zeigen.

Gegen die von Jamin ausgeführte, aber bereits von Erlach (72) angebahnte Erklärung der Polarisationsbüschel wendet Helmholtz (61) ein, dass die Polarisationsbüschel nur im Blau und nur in einem kleinen centralen Theile des Gesichtsfeldes sichtbar sind. Er denkt sich die Entstehung der Polarisationsbüschel folgendermaassen: Bei der Absorption färbigen Lichtes in doppelbrechenden Körpern wird mitunter nur das Licht gewisser Farben und von gewisser Schwingungsrichtung stärker absorbiert. Es kann entweder, wie beim Turmalin, der ordentliche oder, wie beim Rutil und Zinnstein, der ausserordentliche Strahl stärker absorbiert werden. Da nun die meisten organischen Fasern doppelbrechend sind und sich wie einachsige Körper mit zur Längsrichtung der Fasern paralleler Achse verhalten, so kann man die Polarisationsbüschel durch die Annahme erklären, dass „die gelb gefärbten Elemente des gelben Fleckes schwach doppelbrechend sind und dass der ausserordentliche Strahl von blauer Farbe in ihnen stärker absorbiert wird, als der ordentliche Strahl. Geht blaues Licht von beliebiger Polarisation durch eine Fasermasse von dieser Eigenschaft, so wird es stärker absorbiert werden, wenn es parallel den Fasern polarisiert ist, schwach dagegen, wenn seine Polarisationsrichtung ebenfalls senkrecht zur Richtung der Fasern ist". Die Fasern, welche auf die beschriebene Weise die Polarisationsbüschel hervorrufen, wären nach Helmholtz die sogenannten radiären Fasern von H. Müller, welche in der Gegend des gelben Fleckes schräg verlaufen, indem ihr hinteres Ende sich der Netzhautgrube nähert. Die zu den Zapfen der Netzhautgrube gehörigen anderen Elemente sind in der Umgebung der Grube aufgehäuft und dies erklärt, warum

die Verbindungsfasern nervöser und bindegewebiger Natur schräg verlaufen müssen. „An dem Rande der Netzhautgrube nun, wo die Fasern überwiegend eine schräg gegen ihr Centrum verlaufende Richtung haben, würde nach der gemachten Annahme das Licht stärker dort absorbiert werden, wo die Fasern der Polarisationsebene parallel verlaufen. Ist letztere vertical, so würden also über und unter der Netzhautgrube sich dunklere Stellen bilden, rechts und links hellere. Ebenso würden die Stellen dunkler werden müssen, wo die Fasern nicht mehr schräg gegen die Fläche der Netzhaut liegen, also im Centrum der Grube selbst und nach dem äusseren Rande des gelben Fleckes hin“.

Seitdem hat nur noch Geigel (73) eine andere Theorie der Polarisationsbüschel aufgestellt. Er meint, dieselben könnten vielleicht, durch Interferenz des in der Krystallinse zweimal reflectierten und des eintretenden polarisierten Lichtes entstehen.

Blicke ich durch ein Nicol'sches Prisma gegen eine helle Fläche, so sehe ich bei verticaler Stellung der Polarisationsebene einen senkrechten gelben Büschel, welcher in der Mitte sanduhrartig eingeschnürt erscheint. Die horizontal liegenden etwa dreieckigen Partien rechts und links von der centralen schmalen Stelle des gelben Büschels sind heller und in der Nähe des Fixationspunktes sehr schwach bläulich gefärbt. Nach kurzer Zeit bereits verschwinden bei ruhiger Haltung des Nicol'schen Prismas diese letzteren bläulichen Büschel, wogegen der gelbe etwas länger sichtbar bleibt. Bei einer Drehung des Nicols treten dagegen die gelben Büschel wieder deutlich hervor und stets senkrecht auf ihre Richtung jetzt sehr deutliche blaue Büschel.

Doch zeigt sich in der Form des gelben Büschels bei verticaler oder horizontaler Stellung desselben ein Unterschied. Bei horizontaler Stellung der Polarisationsebene, also auch des gelben Büschels, zerfällt dasselbe in zwei durch einen sehr schmalen Zwischenraum in der Mitte getrennte gelbe Büschel, während nun bloss ein blaues Büschel erscheint, von ganz derselben Form wie vorher das gelbe. Die gelben Büschel sind, wenn sie horizontal liegen, im ganzen etwas länger, aber gegen den Fixationspunkt zu schmäler als in der verticalen Stellung. Immer sind sie an einer Stelle, unweit des Fixationspunktes am stärksten gefärbt.

Andere Personen sehen die gelben Büschel stets in der Mitte verbunden, ob die Polarisationsebenen vertical oder horizontal liegen.

Es scheint aber ziemlich constant zu sein, dass die gelben Büschel in der Nachbarschaft des Fixationspunktes bei horizontaler Lage schmäler sind als bei verticaler. So wird es von Brewster und Helmholtz (61) angegeben und so war es auch bei einigen Collegen, die ich zur Beobachtung der Haidinger'schen Büschel veranlasste.

Die Grösse der horizontal liegenden gelben Haidinger'schen Büschel beträgt für mein Auge auf 4·5 *m* projiciert etwa 40—50 *cm*, also auf der Retina 1·3—1·7 *mm*.

In Anbetracht der bereits von Helmholtz hervorgehobenen Umstände kann man die Erklärung der Polarisationsbüschel nur in der Netzhaut in der Umgebung der Foveamitte suchen. Doch wird die Annahme Helmholtzs bezüglich der Doppelbrechung der Müller-schen Fasern durch die anatomische Untersuchung nicht wahrscheinlich gemacht. Die Müller'schen Fasern sind gerade in der Gegend der Macula nur sehr zart. Sie verlaufen nur sehr wenig schräg zur Netzhautoberfläche. Endlich ist nicht zu verstehen, warum die gelben Polarisationsbüschel gerade unweit des Fixationspunktes am stärksten gefärbt sind, wo doch die Müller'schen Fasern bereits sehr kurz sind.

Ich habe nun verschiedene Netzhautpräparate in Bezug auf die Doppelbrechung untersucht und will die Resultate dieser Untersuchung im folgenden mittheilen.

Doppelbrechung der Netzhautelemente.

Zunächst will ich gleich bemerken, dass in allen Netzhäuten, die in Flemming'scher oder Müller'scher Lösung oder in Sublimat gehärtet worden waren, keine Spur von Doppelbrechung wahrnehmbar war. Dieselbe fand sich nur an solchen, die in Salpetersäure fixiert worden waren und theils gefroren geschnitten wurden, theils nach weiterer Härtung in Alkohol, in Celloidin eingebettet und dann in Schnitte zerlegt wurden.

In einer Netzhaut, die auf die letztere Weise präpariert war, zeigte sich eine sehr deutliche Doppelbrechung in der äusseren Faserschicht. Wurden die beiden Nicols im Polarisationsmikroskope gekreuzt und ein Gipsblättchen I. Ordnung eingeschaltet, dessen erste Mittellinie den Winkel zwischen den beiden Polarisationsebenen der Nicols halbierte, so zeigten sich an dem Präparat folgende Erscheinungen: Lag dasselbe so, dass die Längsachse der Zapfenfasern in der äusseren Faserschicht der grösseren Elasticitätsachse des Gipsblättchens parallel

war, so erschien die ganze Zapfenfaserschicht blau auf rothem Grunde. War die äussere Faserschicht so orientiert, dass die Zapfenfasern mit ihrer Längsachse senkrecht zur I. Mittellinie des Gipsblättchens lagen, dann war die Zapfenfaserschicht gelb. Von den übrigen Schichten zeigte die Nervenfaserschichte sehr deutlich ganz dieselbe Doppelbrechung, wie die äussere Faserschichte, die Stäbchenzapfenschichte eine geringe Doppelbrechung, u. zw. waren die Innenglieder ganz in derselben Weise doppelbrechend, wie die äussere Faserschichte, während die Aussenglieder die entgegengesetzte Doppelbrechung zeigten wie die Innenglieder, d. h. gelblich waren, wenn ihre Achse der grösseren Elasticitätsachse des Gipsblättchens parallel war, blau in der darauf senkrechten Richtung.

Ganz anders waren die Erscheinungen an Netzhäuten, welche in Salpetersäure fixiert und dann gefroren geschnitten wurden, also nicht mit Alkohol und Aether in Berührung gekommen waren. Hier verhält sich die Zapfenfaserschichte in der entgegengesetzten Weise doppelbrechend, d. h. sie war (bei gleicher Anordnung der polarisierenden Apparate) blau, wenn die Zapfenfasern auf die grössere Elasticitätsachse des Gypsblättchens senkrecht verliefen, und gelb, wenn sie mit dieser Achse zusammenfielen. Fast ebenso deutlich und ganz von demselben Verhalten ist die Doppelbrechung in der Nervenfaserschichte der Retina. In geringerem Maasse war auch die innere reticuläre Schichte doppelbrechend und zeigte stets dieselben Farben wie die äussere Faserschichte und auch an der äusseren reticulären Schichte konnte ich an ausserhalb der Macula gelegenen Netzhautpartien, wo sich diese Schichte deutlich von der äusseren Faserschicht sondern liess, ein analoges Verhalten constatieren. Aber auch in den Körnerschichten und in der Ganglienzellenschichte war eine geringe Doppelbrechung wahrnehmbar in der Weise, dass dieselben immer dann gelb erschienen, wenn die äussere Faserschichte blau war und umgekehrt, wenn auch das Maximum der beiden Farben der in Rede stehenden Schichten oft erst dann erreicht wurde, wenn das Präparat noch etwas gedreht wurde. Meist musste diese Drehung in der Weise erfolgen, dass etwa der Clivus der Fovea den Winkel zwischen den Polarisationsebenen der Nicols halbierte. An der Stäbchenzapfenschichte war eine ganz deutliche Doppelbrechung nachweisbar, doch an den Aussen- und Innengliedern von verschiedener Art. Die Innenglieder verhielten sich ganz so wie die äussere Faserschicht, d. h. sie waren gelb, wenn ihre

Längsachse mit der Richtung der grösseren Elasticitätsachse des Gypsplättchens zusammenfiel, und blau in der darauf senkrechten Lage. Infolge ihrer zum Verlaufe der Zapfenfasern in der äusseren Faserschichte fast senkrechten Stellung in der Retina erschienen sie natürlich immer dann gelb, sobald die äussere Faserschichte blau aussah und umgekehrt. Die Aussenglieder zeigten das entgegengesetzte Verhalten — sie waren blau, wenn ihre Längsachse mit der Achse des Gypsplättchens die gleiche Richtung hatte, und gelb, wenn das Präparat aus dieser Stellung um 90° gedreht wurde.

Um nachzuweisen, dass die Doppelbrechung nicht etwa durch die Einwirkung der Salpetersäure beeinflusst worden sei, untersuchte ich eine kaum 3 Stunden nach dem Tode herausgenommene Netzhaut, ohne sie vorher in Salpetersäure zu fixieren. Es wurde ein Stück der Retina aus der Nähe der Papille herausgenommen und in Gummilösung mit dem Gefriermikrotome geschnitten, u. zw. derart, dass die Fasern in der Nervenfaserschicht der Länge nach sichtbar waren. Auch hier zeigte sich ganz dieselbe Art der Doppelbrechung wie nach Einwirkung von Salpetersäure.

Es ergibt sich somit Folgendes bezüglich der Doppelbrechung in der Retina: An den Salpetersäurepräparaten, die gefroren geschnitten wurden, waren die Fasern der inneren und äusseren Faserschichte und die Innenglieder der Stäbchen in Bezug auf die Längsachse negativ, die Aussenglieder positiv doppelbrechend; an den Präparaten, die nach der Salpetersäurefixation noch in Alkohol gehärtet und mit Aether weiter behandelt worden waren, zeigten die Fasern der inneren und äusseren Faserschicht sowie die Innenglieder der Stäbchenzapfen eine in Bezug auf die Längsachse positive Doppelbrechung. Die Aussenglieder waren in Bezug auf die Längsachse negativ doppelbrechend.

Die geringe Doppelbrechung, wie sie in den übrigen Netzhautschichten an den Präparaten ersterer Art beobachtet wurde, lässt sich darauf zurückführen, dass in den Körnerschichten und in der Ganglienzellenschicht in Bezug auf die Längsachse negativ doppelbrechende Fasern annähernd senkrecht zur Netzhautoberfläche angeordnet sind, während eben solche Fasern in der inneren und äusseren reticulären

Schicht der Oberfläche der Retina parallel verlaufen, wie dies in der That auch in dem anatomischen Baue dieser Schichten begründet ist.

Die Doppelbrechung markloser Nervenfasern betreffend ist von Valentin (74) an den Opticusfasern der Retina von Thieren und dem Olfactorius eine verhältnismässig negative Färbung in Bezug auf die Längsachse gesehen worden. Doch bemerkt v. Ebner (75) hiezu, dass man daraus nur schliessen könne, dass hier wahrscheinlich dünne Markscheiden vorhanden sind. v. Ebner selbst gibt an, dass er ebenfalls an dickeren Stämmen des Olfactorius des Frosches bisweilen eine negative Färbung in Bezug auf die Längsachse wahrnehmen konnte, während dünnere Bündel schwach positiv sind, was wahrscheinlich nur von den bindegewebigen Scheiden herrührt. Nach Apathy (76) sind auch die marklosen Fasern doppelbrechend. Die Art der Doppelbrechung wird von ihm nicht angegeben. Er bezieht die Doppelbrechung nicht auf die Primitivfibrillen, sondern auf die interfibrilläre Substanz, resp. auf das darin enthaltene Myelin. Die Doppelbrechung verliert sich nach Behandlung mit Reagentien, welche Myelin lösen (Balsampräparate, Paraffinschnitte).

Ambronn (77) fand ebenfalls bei marklosen Nervenfasern wirbelloser Thiere und beim Tractus olfactorius des Hechtes eine negative Doppelbrechung in Bezug auf die Längsachse. Von ihm wird auch angegeben, dass diese Art der Doppelbrechung sich durch Extrahieren mit Alkohol in eine in Bezug auf die Längsachse positive Doppelbrechung verwandelt.

Bereits Klebs hatte angenommen, dass in den markhaltigen Nervenfasern kleinste krystallinische Theilchen mit ihren optischen Achsen radiär angeordnet seien. Als solche hatte Kühne Protagonkrystalle vermuthet. Auch v. Ebner hält es für erwiesen, dass das Nervenmark positiv einachsig doppelbrechend sei mit radiär gerichteten optischen Achsen, macht jedoch gegen die Annahme Kühne's geltend, dass Protagon in kaltem Aether unlöslich sei, während die Doppelbrechung des Nervenmarkes durch Aether zerstört wird. Ambronn meint nun, dass „sowohl in markhaltigen als in marklosen Nervenfasern eine Grundsubstanz vorhanden sei, welche bei Abwesenheit von Myelin, beziehungsweise Lecithin die normale positive Doppelbrechung besitzt. Ist nun in dieser Partie jener optisch wirksame Körper in Form sehr kleiner mit ihrer optischen Achse radiär, sonst aber gleichsinnig gelagerter Krystalle vorhanden, so wird dadurch die positive

Doppelbrechung der Grundsubstanz verdeckt und es tritt der umgekehrte Charakter ein". „Nach Behandlung mit Aether und Alkohol wird aber immer der positive Charakter der Grundsubstanz rein hervortreten."

Auch in meinen Präparaten war, wie erwähnt, diese anscheinende Umkehrung der Doppelbrechung nach der Einwirkung von Alkohol und Aether nachweisbar. Es erscheint mir ferner bemerkenswert, dass sich die gleiche Art der Doppelbrechung an den Achsencylindern der Nervenfaserschicht, an den Fasern der äusseren Faserschicht und an den Innengliedern der Stäbchenzapfenschicht nachweisen liess, während die Aussenglieder die entgegengesetzte Art der Doppelbrechung aufwiesen, u. zw. wurde dieser Unterschied auch für die schlanken Zapfen der Fovea gefunden.

Bekanntlich unterscheiden sich die Aussenglieder von den Innengliedern der Stäbchen durch manche Reactionen, z. B. durch die Färbung mit Osmiumsäure (M. Schultze, Rudnew) mit Essigsäure — Hämatoxylin (Schaffer), während sich die Innenglieder andererseits mit Carmin allein färben (Braun). Doch werden die Aussenglieder durch Osmiumsäure nicht wie das Nervenmark braunschwarz, sondern grün-braun oder grün-schwarz gefärbt. Nach Kühne wird diese eigenthümliche Färbung durch eine Substanz, die er Myeloid nennt und von dem Myelin der Markscheiden unterscheidet, bedingt. Dass die Substanz der Aussenglieder nicht mit dem Nervenmark indentisch ist, dafür spricht auch die Art der Doppelbrechung, die am Salpetersäurepräparat bereits eine andere als die des Nervenmarkes war und durch die Extraction mit Aether und Alkohol dann umgekehrt wurde.

Die Innenglieder scheinen sich also, soweit man nach der Untersuchung an ihrem optischen Längsschnitte urtheilen darf, optisch ganz ebenso zu verhalten wie die Zapfenfasern, die doch gewiss nicht der Lichtperception dienen. Dagegen zeigen die Aussenglieder neben anderen Unterschieden auch noch eine andere Art der Doppelbrechung als die Innenglieder. Sollte dies nicht dafür sprechen, dass die Lichtperception in den Aussengliedern zu suchen sei? Bereits M. Schultze hat Gründe dafür angeführt, dass die percipierende Stelle die Grenzfläche des Innengliedes gegen das Aussenglied sei, indem er der von Hensen angedeuteten Ansicht zustimmt,

dass den in den Zapfen der Vögel, u. zw. am äusseren Ende des Innengliedes, vorfindlichen farbigen Kugeln die Bedeutung zukomme, Strahlen gewisser Wellenlänge zu absorbieren. Es scheinen ja auch manche andere Umstände: die enge Beziehung der Aussenglieder zu dem für die Regeneration der Sehstoffe so wichtigen Pigmentepithel, das Vorkommen des Sehpurpurs lediglich in den Aussengliedern der Stäbchen auf die Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen hinzuweisen. Hensen hat bereits die Aussenglieder als die lichtpercipierenden Elemente angesehen, indem er auf die farbigen Kugeln in den Innengliedern und die eigenthümlichen Erscheinungen beim Betrachten feiner Liniensysteme hinwies.

Erklärung der Haidinger'schen Polarisationsbüschel.

Es kann nach dem, was über die Doppelbrechung der Netzhaut hier mitgetheilt wurde, keinem Zweifel unterliegen, dass es die äussere Faserschichte ist, welche die Polarisationsbüschel erzeugt. In der That entspricht dieselbe in ihrer ganzen Anordnung so vollkommen der Erscheinung der Polarisationsbüschel, dass man bei einem Erklärungsversuche der Haidinger'schen Büschel an diese Schichte denken muss, bevor man noch die Doppelbrechung in der Retina untersucht hat; ihr radiäres Ausstrahlen von der Mitte der Fovea, der Umstand, dass ihre grösste Dicke unweit der Mitte der Fovea liegt, ihre gelbe Färbung, die oben nachgewiesen wurde, alles das weist auf die äussere Faserschichte hin. Der Nachweis der Doppelbrechung in dieser Schichte endlich erhebt es zur Gewissheit, dass wir hier die Entstehungsursache der Haidinger'schen Büschel zu suchen haben. Wir wissen allerdings nicht, ob wir die Zapfenfasern mit negativen doppelbrechenden Krystallen vergleichen können, deren optische Achse der Längsrichtung der Fasern entspricht. Denn die Beobachtung, dass sie in Bezug auf ihre Längsrichtung negativ doppelbrechend sind, kann uns ohne Beobachtung des Verhaltens der Doppelbrechung auf dem Querschnitte darüber nicht aufklären und obwohl ich auch an Querschnitten diese Schichte untersucht habe, bin ich doch zu keinem sicheren Resultate gekommen.

Dennoch kann man Folgendes mit Sicherheit aussprechen: Die Fasern der äusseren Faserschichte sind in Bezug auf ihre Längsachse negativ doppelbrechend, gelb gefärbt und besitzen die Eigenschaft, blaue Strahlen,

deren Polarisationsebene der Richtung ihrer Längsachse parallel ist, stärker zu absorbieren als solche, die senkrecht zu ihrer Längsachse polarisiert sind.

Dass die Polarisationsbüschel in ihren centralen Partien weniger saturiert sind, erklärt sich schon daraus, dass die äussere Faserschichte, wie wir gesehen haben, am Grunde der Fovea in einer gewissen Ausdehnung als eigentliche Schichte fehlt, dennoch sind auch hier Zapfenfasern vorhanden, welche aber zum grossen Theile bereits ausserhalb der Zapfenkörner liegen und steil aufgerichtet der Limitans externa zustreben. Auch diese Fasern wirken ebenfalls durch ihre Doppelbrechung, da wir bei der Erzeugung der Haidinger'schen Büschel auch in der unmittelbaren Umgebung des Fixationspunktes gelb sehen. Ein Schluss auf das Verhalten der Zapfenfasern im Querschnitte lässt sich aber daraus nicht ziehen, da die Fasern doch fast sämmtlich schräg verlaufen und nur wenige derselben, die centralsten und auch diese nur auf kurze Strecke zur Limitans externa senkrecht stehen, so dass sie vom Lichte in der Richtung ihrer Längsachse durchsetzt werden können. Wenn wir die senkrecht stehenden Fasern in Betracht ziehen, so lässt sich, selbst wenn die Fasern auf dem Querschnitte nicht neutral sind, nicht erwarten, dass die durch dieselben hervorgerufene Lichtabsorption von Strahlen gewisser Schwingungsrichtung und Farbe jenen Grad erreicht, wie dort, wo das Licht die Fasern schräg oder senkrecht zu ihrer Längsachse trifft. Wenn die Fasern auf dem Querschnitte nicht neutral sind, würde in jeder Faser ein Kreuz entstehen und obwohl diese Kreuze in allen Fasern gleich orientiert sein müssen, so kann der Gesammteffect der Absorption doch nicht so gross sein, wie bei einer anderen Lage der Fasern zum Lichteinfalle, denn jede einzelne Faser lässt auch entsprechend dem einen Schenkel des Kreuzes Licht durch.

Die Gegend, in welcher die Haidinger'schen Büschel am intensivsten gefärbt erscheinen, entspricht jener Stelle, wo die äussere Faserschichte in einiger Entfernung vom Grunde der Fovea am dicksten ist, während dann weiter peripher die gelbe Farbe mit der Abnahme der gelben Farbe der Netzhaut und mit der geringeren Mächtigkeit der äusseren Faserschichte die gelben Polarisationsbüschel ebenfalls allmählich blässer werden.

Auch die Form der Büschel findet in dem radiären Ausstrahlen der Zapfenfasern ihre Erklärung. (Siehe Merkel (3) Taf. I, Fig. 11.

Dass die Büschel in horizontaler Stellung etwas länger und in der Mitte meist schmäler erscheinen, beruht auf der ovalen Form der Fovea und der dieser Gestalt entsprechenden Anordnung der Retinalelemente.

Es gibt aber auch Personen, die die gelben Büschel in der verticalen Stellung deutlich schmäler sehen als in der horizontalen, wie ich der Mittheilung von Dr. Sachs über das Aussehen der Haidinger'schen Büschel in seinem Auge entnehme.

Ich habe mich vergeblich bemüht durch Flächenschnitte der Retina in der Verlaufsrichtung der Fasern dafür eine anatomische Grundlage zu finden. Es kann auch nicht Wunder nehmen, dass dies nicht gelingt, wenn man bedenkt, dass selbst an den best fixierten Netzhäuten doch noch immer der Grund der Fovea nicht in vollständig normaler Lage erhalten ist. Dadurch müssen aber die äusserst zarten Details der Netzhautstructur bereits verwischt werden.

Nun ist der kleine dunkle Fleck in der Mitte der Fovea, der, wie wir oben gesehen haben, durch die Verdünnung der Netzhaut an dieser Stelle und das Fehlen der Faserschicht daselbst bewirkt wird, oft rund. Man kann also gewiss annehmen, dass die den centralsten Zapfen zugehörigen Zapfenkörner in Kreisform um die Mitte der Fovea angeordnet sind. Die Fovea ist aber, wie wir aus dem mit dem Augenspiegel sichtbaren Reflexring um dieselbe wahrnehmen können, häufig quer-oval. Wenn wir uns nun denken, dass die einzelnen Elemente der Gehirnschicht in gleichmässiger Weise am Rande der Fovea vertheilt sind, die centralsten Zapfenkörner aber ebenfalls in gleichmässiger Weise, jedoch in Kreisform um die Mitte der Fovea liegen, so können wir uns den Verlauf der Fasern in der äusseren Faserschicht nach Art der beistehenden Fig. 10 vorstellen. Es sind hier von

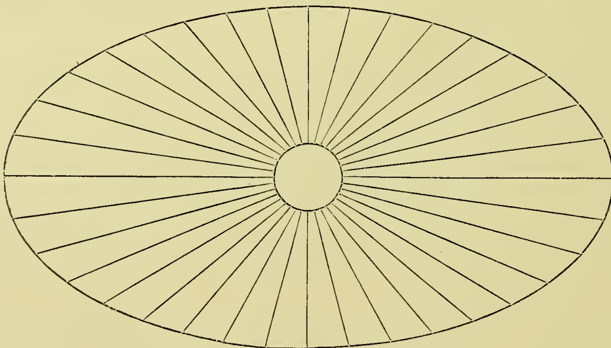


Fig. 10.

gleich weit voneinander abstehenden Punkten des Ovals, welches den Rand der Fovea etwa darstellen würde, Linien zu einem kleinen Kreis, der in der Mitte des Ovals liegt, gezogen, u. zw. derart, dass die Punkte, an welchen diese Linien an der Kreisperipherie endigen, ebenfalls gleich weit voneinander entfernt sind.

Es ist nun klar, dass nicht nur jene Fasern der äusseren Faserschichte, welche der Polarisationsebene vollkommen parallel sind, das Licht in der oben angegebenen Weise absorbieren, sondern, wenn auch in geringerem Grade, auch noch Fasern, welche unter einem gewissen Winkel gegen die Richtung der Polarisationsebene geneigt sind. Bei einer gewissen Grösse des Winkels, welchen man dann als den Grenzwinkel bezeichnen könnte, wird die angegebene Wirkung der Fasern aufhören. Die Figur 10 zeigt nun, dass die nach oben und unten verlaufenden Fasern bereits in geringer Entfernung von der Verticalen ziemlich stark gegen diese geneigt sind, während die nach rechts und links streichenden Fasern erst in grösserem Abstande von der horizontalen Richtung jenen Grenzwinkel, bei dem keine stärkere Absorption der blauen Strahlen mehr eintritt, erreichen.

Es liegt hierin die Erklärung für jene Fälle, wo die gelben Büschel in der verticalen Stellung schmäler erscheinen als in der horizontalen. Für jene Augen, die die gelben Büschel in horizontaler Stellung in der Mitte schmäler sehen, ist eben eine andere Lagerung der centralen Theile der äusseren Körnerschicht vorauszusetzen. Diese müssten entweder ebenfalls in Form eines Ovals angeordnet sein, oder zwar in Kreisform, aber nicht in einer nach allen Richtungen gleichmässigen Vertheilung.

Sind, wie dies auch vorkommt, die gelben Büschel in jeder Stellung gleich, so ist eine kreisrunde Fovea mit kreisförmiger Anordnung der centralen Theile der äusseren Körnerschicht zu vermuthen.

Die Beobachtung der Haidinger'schen Polarisationsbüschel lehrt, dass es eigentlich nur die gelben Büschel sind, welche zunächst in Erscheinung treten, von den blauen Büscheln sieht man, wenn man durch ein ruhig gehaltenes Nicol'sches Prisma blickt, nur eine schwache Andeutung, dreht man aber den Nicol, dann kommen auch die blauen Büschel mit voller Deutlichkeit zum Vorschein. Man kann daraus schliessen, dass die blauen Büschel zum grossen Theile nur dadurch entstehen, dass bei der Drehung des Nicol auf jenen Netzhautstellen, welche früher nur gelbes

Licht empfangen haben, durch successiven Contrast die blaue Gegenfarbe hervortritt. Dafür spricht auch die Beobachtung, dass, wenn man den Nicol nach einigen Drehungen wieder ruhig hält, zuerst die blauen Büschel bis auf eine geringe Andeutung verschwinden, die gelben aber viel länger bestehen bleiben, um dann endlich auch immer mehr zu verblassen, und endlich ebenfalls, offenbar durch locale Adaption der Retina unsichtbar zu werden.

In den meisten Augen befindet sich vor der dicksten Stelle der äusseren Faserschicht noch eine ziemlich dicke Lage der Gehirnschicht, welche eine intensiv gelbe Färbung enthält (Tafel, Fig. 2). Nur in jenen Augen, wo ein grosser Fundus foveae vorhanden ist (Tafel, Fig. 1), liegt die äussere Faserschicht in der Fovea fast bloss. Es wird daher in den meisten Fällen das Licht, welches zur äusseren Faserschichte, u. zw. zu den wirksamsten dicksten Partien derselben gelangt, bereits durch die Absorption der kurzwelligen Strahlen in der Gehirnschicht wesentlich verändert sein. Nun wird noch durch die in der Richtung der Polarisationsebene verlaufenden, ebenfalls gelb gefärbten Zapfenfasern der letzte Rest der kurzwelligen Lichtstrahlen absorbiert, so dass das terminale Licht, wie sich Hering ausgedrückt hat, nur gelbe Strahlen enthält. In der zur Polarisationsebene senkrechten Richtung wird ebenfalls durch die vor der äusseren Faserschichte liegenden gelb gefärbten Theile der Netzhaut das Licht kürzerer Wellenlänge absorbiert, hier fehlt aber die weitere Absorption durch die Zapfenfasern, und dieser Unterschied in der Absorption in den beiden aufeinander senkrechten Richtungen ist es, welcher uns in der Richtung der Polarisationsebene und entsprechend der Anordnung der Zapfenfasern die gelbe Farbe der Macula lutea sichtbar macht, welche uns sonst durch die locale Adaptation der Retina (Hering) für dieselben nicht wahrnehmbar ist.

Die geringe blaue Färbung, welche gleich beim Vorsetzen des Nicols, senkrecht auf die Richtung der gelben Büschel, u. zw. dort zu sehen ist, wo später beim Drehen des Nicols die centralsten Partien der blauen Büschel hervortreten, ist durch simultanen Contrast, hervorgerufen durch die gelben Büschel, zu erklären.

5. *Die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea.*

Ewald (78) hat zuerst gezeigt, dass man nach längerer Ruhe des Auges imstande ist, die Macula lutea mit ihrer gelben Farbe

direct wahrzunehmen. Hering (49) sieht, wenn er das Auge nach der Nachtruhe noch während der Dämmerung öffnet, die Macula als einen grossen, sehr dunklen rundlichen Fleck, dessen querer Durchmesser etwas grösser und dessen hellerer Theil geblich ist. Rampoldi (79) beschreibt die entoptische Wahrnehmung der Macula unmittelbar nach dem Erwachen als einen dunklen rundlichen Fleck, der mitunter von einem rothen Ring umgeben ist.

Ich sehe die Macula lutea sehr oft des Morgens beim Erwachen, ja auch bei Tage, wenn ich die Augen durch etwa $^1/_2$ Stunde geschlossen halte und dann auf eine schwach beleuchtete helle Fläche blicke, als rothen Fleck mit verschwommenen Grenzen, manchmal aber auch und nur des Morgens als dunklen Fleck, jedoch ohne gelbliche Farbe. Der dunkle Fleck erscheint mir stets bedeutend grösser als der rothe Fleck und scheint nur bei schwächerer Beleuchtung aufzutreten. Stets verschwindet die Erscheinung bei gleichmässiger Beleuchtung (durch locale Adaptation) sehr bald und lässt sich nur dadurch noch wieder hervorrufen, dass man bald nach dem Verschwinden des Fleckes die Augen für kurze Zeit wieder schliesst und dann rasch wieder öffnet. Auf diese Weise kann ich, ebenso wie Ewald, die Erscheinung noch einigemal, aber immer im abnehmender Sättigung und für immer kürzere Zeit hervorrufen.

Auf Anregung Prof. Exners, der meinte, ob nicht bei der Wahrnehmung der Macula als rothen Fleck das durch die Lider eindringende rothe Licht in Betracht komme, machte ich den Versuch in der Weise, dass das Auge vollständig verdeckt wurde. Ich verband ein Auge mit einer schwarzen Binde und schloss das andere. Als ich nach Verlauf von einer $^1/_2$ Stunde das nicht verbundene Auge öffnete, sah ich die Macula als rothen Fleck, sowie früher beschrieben, an der Zimmerdecke. Wurde dann aber der Verband vom anderen Auge rasch entfernt und dieses Auge gleichzeitig geöffnet, so erschien hier die Macula nicht roth, sondern als ein verwaschener dunkler Fleck.

Es beruht die Wahrnehmung der Macula als rother Fleck, also nur darauf, dass bei einfach geschlossenen Lidern das Auge von rothem Lichte erfüllt ist. Wird dann das Auge plötzlich geöffnet, so adaptiert sich die Retina sehr rasch für das weisse Licht, während die Rothempfindung in der Fovea infolge des in dieser Gegend langsameren Verlaufes der Erregungszustände noch etwas länger bestehen bleibt. Es dürfte dabei noch mitwirken, dass durch die Farbe der Macula

gerade die gelben und rothen Strahlen aus dem weissen beim Oeffnen des Auges einfallenden Licht nicht absorbiert werden. Der Umstand, dass mir die Macula des Morgens beim Erwachen meist als dunkler Fleck sichtbar wird, ist dadurch zu erklären, dass in der Dämmerung oder in einem theilweise verfinsterten Zimmer weniger Licht durch die Lider ins Auge dringt.

Der rothe Ring um die gelb oder dunkelgefärbte Macula, den Ewald und Rampoldi beschrieben, könnte vielleicht in ähnlicher Weise entstehen. Denn auch in dem Falle, wenn, wie dies Ewald gethan hat, die Augen vor dem Oeffnen vollständig verdeckt werden, wäre es möglich, dass eine Rothempfindung in der Gegend der Macula zustande kommt, da das Tageslicht selbst nach den Untersuchungen von Brücke und von Memorsky ziemlich stark röthlich ist. Die Meinung Ewalds und Rampoldis, dass jener rothe Ring der Ausdruck des Sehpurpurs sei, scheint mir unhaltbar, denn es ist nicht denkbar, dass die Aussenglieder der Stäbchenzapfenschicht die Farbe eines in ihr enthaltenen Stoffes unserer Wahrnehmung vermittle.

Bekanntlich kommt die Macula lutea auch noch in anderer Weise zur Wahrnehmung. Sie erscheint als der sogenannte Maxwell'sche Fleck, wenn man durch ein blaues Glas nach einer hellen Fläche hinblickt. Derselbe ist im reinen Blau und denjenigen gemischten Farben sichtbar, welche Blau enthalten.

Als der constantere Theil der Erscheinung wird von Helmholtz (61) der dunkle sogenannte gefässlose Hof als ein rhombischer schattiger Fleck beschrieben, welcher von einem hellen blauen Streifen, dem sogenannten Loewe'schen Ring, umgeben wird. In diesem dunklen Fleck soll die Netzhautgrube als ein etwas hellerer blauer Fleck mit ziemlich scharfen Grenzen sichtbar sein. Exner (80) beschreibt die Erscheinung in etwas anderer Weise. Er sieht eine aus mehreren concentrischen hellen und dunklen Ringen zusammengesetzte Figur. Der äusserste derselben, der dunkler als die Umgebung ist, hat einen Durchmesser von 0·3—0·4 *mm* auf der Netzhaut, der dem von Maxwell und Helmholtz beschriebenen dunklen Fleck entspricht. Er umfasst einen hellen Ring, dessen Durchmesser auf der Retina 0·2 *mm* ist. Dieser erscheint heller als die den ersten dunklen Ring umgebende Macula lutea. In der Mitte dieses hellen Ringes findet sich dann wieder ein etwas sternförmig ausgezogener dunkler und scharf begrenzter Kreis, dessen Netzhautdurchmesser etwa 0·1 *mm* beträgt.

In diesem liegt endlich ein scharf begrenzter heller Fleck, der in seiner Mitte einen minimalen schwarzen Punkt enthält. Exner gibt auch eine den Maxwell'schen Fleck darstellende Abbildung. Der äusserste dunkle Kreis entspricht bei Exner den eigentlichen Polarisationsbüscheln, „welche gleichsam von ihm übrig bleiben, wenn man während der Betrachtung der beschriebenen Figur ein Nicol'sches Prisma vor das Auge bringt. An der Stelle, wo beide Polarisationsbüschel zusammenstossen, sehe ich auch dann noch, sowie im unpolarisierten blauen Lichte, jenen sternförmigen dunklen Fleck mit dem weissen in ihm sammt dem schwarzen Punkt."

Während Helmholtz zur Erklärung des Maxwell'schen Fleckes die Absorption des blauen Lichtes durch das gelbe Pigment in Anspruch nimmt, zieht Exner noch die Absorption in den doppelbrechenden Fasern der Netzhaut heran. Er sagt diesbezüglich: „Dringt blaues Licht durch die Fasermasse der Netzhautgrube, so wird es doppelt gebrochen. Der polarisierte Strahl wird dort stark absorbiert, wo er parallel der optischen Achse der Fasern, also in der Richtung der Fasern selbst eindringt. Je mehr seine Richtung von jener der Fasern abweicht, desto geringer wird die Absorption sein. Ist die Faserrichtung an verschiedenen Stellen gleich geneigt zur Richtung des einfallenden Strahles, so wird die Absorption desto grösser sein, je dicker die Schichte der Fasern ist". Exner beruft sich nun auf die Abbildungen der Fovea von M. Schultze, aus welchen hervorgeht, dass die Müller'schen Fasern in der nächsten Nähe der Fovea mit Ausnahme der Tiefe derselben in ziemlich gleicher Neigung verlaufen. Die Dicke der Faserschicht ist aber an verschiedenen Stellen eine verschiedene. Sie nimmt bis zum Rande der Fovea zu und dies würde den äusseren dunklen Ring des Maxwell'schen Fleckes erklären. Durch die Abnahme der Schichte gegen die Mitte der Fovea würde der helle Ring hervorgerufen werden. Dagegen richten sich am Grunde der Fovea die Fasern wieder auf und so soll der dunkle Fleck in der Mitte des hellen Ringes entstehen. Für den hellen Fleck im Centrum meint Exner die Abwesenheit der Müller'schen Fasern in der Mitte der Netzhautgrube anführen zu können, wogegen er für den schwarzen centralen Punkt keine Erklärung hat.

Mayershausen (81) sieht den Maxwell'schen Fleck als einen sechsstrahligen Stern. In demselben findet sich der ebenfalls etwas sternförmig ausgezogene helle Hof und dieser umschliesst eine vier

strahlige dunkle Figur, in deren Centrum sich wieder eine vierstrahlige helle Figur vorfindet, welche der hellste Theil der Erscheinung ist. Das ganze wird umgeben von dem Loewe'schen Ringe, den Mayershausen auf der von ihm beigegebenen Figur nicht dargestellt hat.

Wenn ich hinter einem blauen Glase rasch die Augen öffne, so sehe ich den Maxwell'schen Fleck als eine querovale oder besser nahezu rhombische dunkle Stelle in der Gegend des Fixationspunktes, welcher ziemlich unregelmässig und verschwommen begrenzt ist. Derselbe misst auf 50 *cm* projiciert 12—13 *mm* in horizontaler Richtung und etwa 10 *mm* in verticaler, also für die Netzhaut berechnet 0·36—0·39 *mm*, beziehungsweise 0·3 *mm*. Ganz im Centrum des dunklen Fleckes, der gegen seine mittleren Partien mehr und mehr an Saturation zunimmt, zeigt sich eine sehr kleine helle Stelle, wo die Helligkeit des durch das blaue Glas durchgelassenen Lichtes nicht vermindert scheint. Sie hat auf die angegebene Entfernung projiciert nur etwa 2 *mm* Durchmesser, was also auf der Retina einer Grösse von nur 0·06 *mm* entsprechen würde. Bewege ich hinter dem blauen Glase knapp vor dem Auge ein Diaphragma, so wird der Maxwell'sche Fleck grösser und mehr oval. Halte ich ein Nicol'sches Prisma hinter das blaue Glas, so nehme ich entsprechend der Stellung der Polarisationsebene dunkle Büschel ganz von dem Aussehen und der Lage der Haidinger'schen gelben Büschel wahr. Stehen die Büschel horizontal, so erscheinen sie länger, in der Mitte etwas schmäler und zerfallen fast vollständig in zwei Büschel, welche durch jenen kleinen Fleck voneinander getrennt werden. Liegen die Büschel vertical, so sind sie kürzer, in der Mitte etwas breiter und vereinigen sich rechts und links von dem kleinen hellen Fleck. Auch sind die verticalen Büschel meist etwas dunkler als die horizontalen.

Mit Berücksichtigung dessen, was wir früher über die Vertheilung der gelben Farbe in den einzelnen Schichten der Retina mitgetheilt haben, können wir uns, glaube ich, recht wohl die verschiedenen Formen des Maxwell'schen Fleckes und das Aussehen der Haidinger'schen Büschel im blauen Lichte erklären.

Der einfachste Fall ist jener, wie er sich in meinem Auge darstellt. Aus dem Verhalten der Gefässe lässt sich, wie früher schon erwähnt, schliessen, dass in meinem Auge die Gehirnschicht noch in ziemlicher Dicke sich am Grunde der Fovea vorfinden muss, was wieder nur in jenen Fällen vorkommt, wo die Fovea nicht sehr

flach gebaut ist, sondern wo der Clivus direct in die Foveola übergeht (siehe Tafel, Fig. 2). Hier liegt aber vor der dicksten Stelle der äusseren Faserschicht noch eine recht dicke Lage der Gehirnschicht. Es ist also ganz natürlich, dass sich die Absorption seitens der gelben Zapfenfasern nicht gesondert von der Absorption des Lichtes durch die gelbe Gehirnschicht geltend machen kann. Ich sehe daher nicht mehrere Ringe, sondern nur einen dunklen Fleck. Der centrale kleine helle Fleck lässt sich dadurch erklären, dass im Centrum der Fovea in einer minimalen Ausdehnung die Zapfenfasern in der That wenigstens zum Theile senkrecht zur Limitans externa stehen und daher von dem Lichte entlang ihrer Längsachse durchsetzt werden. Während nun an allen übrigen Stellen der Fovea die Zapfenfasern die blauen Lichtstrahlen von gewisser Schwingungsrichtung stark absorbieren, wird dieses hier dann gar nicht der Fall sein, wenn die Zapfenfasern auf ihrem Querschnitte neutral sind und selbst wenn dieses nicht der Fall ist, haben wir — wie oben auf Seite 101 auseinandergesetzt wurde — an dieser Stelle eine viel geringere Absorption zu erwarten. Es kommt also hier (abgesehen von der geringen Absorption, die durch die gelbe Farbe der Fasern bedingt wird) nur die Absorption der blauen Strahlen seitens der Gehirnschicht in Betracht, welche, da diese Schicht der Retina hier am allerdünnsten ist, nicht bedeutend sein kann. Man sollte nach dieser Erklärung erwarten, dass auch in den Haidinger'schen Büscheln bei verticaler Stellung derselben eine kleine Lücke zu finden sein müsste. Es ist auch sehr gut möglich, dass dieselbe vorhanden ist, aber bei der Verschwommenheit der ganzen Erscheinung und bei dem geringen Contrast der schwachgelben Färbung gegen den hellen Grund kann dieselbe nicht zur Wahrnehmung kommen.

Anders wird sich die Sache verhalten, wo die Fovea flacher gebaut ist; dabei kann die Gehirnschicht am Grunde der Fovea bis auf eine schwache Andeutung ganz fehlen (Tafel, Fig. 2) oder sie kann sehr verdünnt sein, es kann ein eigentlicher Fundus foveae vorhanden sein oder nicht. Wir können uns diese Verhältnisse sehr wohl aus Tafel, Fig. 2 construieren, wenn wir uns denken, dass der Clivus sehr allmählich abfallend ohne Vermittlung eines Fundus foveae bis zur Foveola reicht und dass die Gehirnschicht, wenn auch sehr dünn auch noch in der Foveola erhalten ist. Jedenfalls sehen wir, dass bis zu der Stelle etwa, wo die äussere Faserschichte am Grunde der Fovea aufhört, die Absorption der blauen Strahlen einen dunklen

Ring im blauen Lichte bilden muss, eben jenen äussersten dunklen Ring, wie er in den Abbildungen von Exner und Mayershausen zu sehen ist.

Der helle Ring, der von diesem umfasst wird, hat bei Exner einen Durchmesser von 0·2 *mm*, wurde also nach den alten Anschauungen auf die Fovea centralis bezogen. Auch bei Mayershausen ist er bedeutend kleiner als der gefässlose Bezirk, also kleiner als 0·45 *mm* (58, Taf. VI Fig. 2). Er entsteht dadurch, dass dort, wo die Zapfenfaserschichte am Grunde der Fovea aufhört, die äusseren Körner bis zur Gehirnschicht nach vorn rücken, so dass die Zapfenfaser gleichsam durch die in ihren Verlauf eingeschaltete äussere Körnerschicht unterbrochen wird. Zwischen den äusseren Körnern liegen wohl auch hier noch Zapfenfasern, doch können sie in ihrer Gesammtheit keine wesentliche lichtabsorbierende Wirkung ausüben. Es bleibt also hier nur die Lichtabsorption seitens der Gehirnschicht, welche an dieser Stelle schon sehr dünn ist. Dann kommt gegen die Mitte der Fovea eine Gegend, wo die äussere Körnerschicht dünner wird und die Zapfenkörner sehr locker, gleichsam verstreut liegen. Grössere, von schräg verlaufenden Zapfenfasern durchsetzte Zwischenräume trennen hier die einzelnen Zapfenkörner. Wenn wir nun annehmen, dass die Zapfenfasern auch hier, wo sie bereits vom Zapfenkorn gegen die Limitans externa verlaufen, gelb gefärbt sind (es ist dies allerdings nicht erwiesen, aber höchst wahrscheinlich), so haben wir hier die Erklärung für den kleinen dunklen Ring innerhalb des früher erwähnten hellen Ringes, dessen Durchmesser auf der Retina Exner mit 0·1 *mm* angibt. Hier kommt die Absorption seitens der Gehirnschicht ebensowohl als seitens der Zapfenfasern wieder zur Geltung. Ganz in der Mitte der Fovea centralis endlich, wo in sehr geringer Ausdehnung die Zapfenfasern senkrecht stehen und in dieser Richtung vom Lichte durchsetzt werden, findet aus den bereits früher angeführten Gründen nur eine sehr geringe Absorption der blauen Strahlen statt und diese Stelle würde dem centralen hellen Fleck in den Abbildungen Exners und Mayershausens entsprechen. Der kleine dunkle Fleck, den Exner in der Mitte der centralen hellen Stelle sieht und der, wie er angibt, bereits an der Grenze des deutlichen Sehens liegt, ist wohl in einem zufälligen Structurverhältnis der Retina begründet. Auch ich sehe in meinem linken Auge einen solchen Punkt, wenn ich mir die Gefässschatten zur Wahrnehmung bringe (siehe oben Seite 76).

Auch die oben bereits citierte Angabe Exners über das Verhalten der Polarisationsbüschel zum Maxwell'schen Fleck lässt sich aus der Erklärung deducieren, denn wo die Zapfenfasern schon sehr schräg zum Lichteinfalle liegen, kann ihre Absorption für Licht von bestimmter Schwingungsrichtung nicht mehr so ins Gewicht fallen, wie dort, wo sie der Netzhautoberfläche nahezu parallel liegen.

Für den Loewe'schen Ring, den ich selbst übrigens nicht sehen kann, ergibt sich aus der anatomischen Structur der Retina keine Erklärung.

6. Die Zapfenmosaik der Fovea centralis.

Es möge hier noch jene Erscheinung erwähnt werden, die Czermak (82) auf die Stäbchen- und Zapfenschicht bezieht. Sie kommt bei rasch wechselnder Beleuchtung (durch Drehung einer Pappendeckelscheibe mit Löchern) zur Wahrnehmung, entwickelt sich aus der Purkinje'schen Schattenfigur und besteht aus einem regelmässigen und scharf gezeichneten Mosaik von kleinen und runden Scheibchen. Doch bemerkt Czermak selbst, dass diese Scheibchen stets unter grösserem Gesichtswinkel erscheinen als dem Durchmesser der Zapfen im gelben Flecke entspricht. Auch sind sie unter verschiedenen Umständen bald grösser, bald kleiner. Czermak sieht die Figur nur in einer centralen Stelle, welche manchmal die Gestalt einer Raute hat. Später hat dann auch Boll (50) die Erscheinung erwähnt und Nuel (60) und Wolffberg (59) die einzelnen hellen Punkte sogar gezählt und in Uebereinstimmung mit der in der Fovea auf anatomischem Wege bestimmten Zahl der Zapfen gefunden. Nuel gibt an, dass er an der feinen mosaikartigen Zeichnung keine Verschiebung derselben im ganzen sehen konnte, doch innerhalb derselben eine Wellenbewegung, wie bei einem Kornfelde unter dem Einflusse des Windes. Olshausen (66) und ebenso Wolffberg sah die Mosaik sich in derselben Richtung bewegen wie die Oeffnung.

Helmholtz (61) hat bereits, wie auch Wolffberg erwähnt, beschrieben, dass bei ihm eine Stelle in der Umgebung des Fixationspunktes chagriniert aussieht, u. zw. erscheint bei der Methode der entoptischen Untersuchung durch Concentrierung von Licht auf der Sklera diese chagrinierte Stelle auf der dem Lichte abgewendeten Seite etwas von den Gefässchatten überdeckt, während auf der dem Lichte zugekehrten Seite zwischen dem Rande der centralen gefäss-

losen Stelle und jener chagrinierten Partie ein Zwischenraum bleibt, woraus Helmholtz schliesst, dass die „Gefässverzweigungen mehr nach vorne liegen, als die Schichte, welche durch Brechung oder Zurückwerfen des Lichtes das chagrinierte Aussehen erzeugt“. Die chagrinierte Stelle scheint Helmholtz sich in der entgegengesetzten Richtung zu bewegen, als der Gefässschatten.

Die bei Einwirkung von Zitterlicht auftretende von Exner (80) genauer beschriebene Erscheinung einer schachbrettartigen Zeichnung ist wie aus der Beschreibung Exners hervorgeht, nicht hierher gehörig und wird von ihm selbst zur Purkinje'schen Lichtschattenfigur in Beziehung gebracht.

Ich sehe, wenn ich mir die Aderfigur durch Bewegung eines feinen Diaphragmas vor dem Auge hervorrufe, nur eine sehr feine Chagrinierung des Grundes, welche in der Umgebung des Fixationspunktes etwas stärker ausgesprochen ist, kann dieselbe aber nicht in einzelne Kreise auflösen. Diese Chagrinierung bewegt sich gleichsinnig mit den Verschiebungen des Diaphragmas. Bewege ich das Diaphragma schneller, so dass die Gefässschatten oder wenigstens jene der feineren Gefässe verschwinden, so erscheint central eine in ihrer Grösse etwa dem Schatten der Foveola entsprechende dunkle Stelle, welche wie gegittert aussieht und sich in derselben Richtung wie das Diaphragma verschiebt. Die einzelnen Oeffnungen dieses Gitters sind aber sehr gross. Durch Vergleichung mit der bei langsameren Bewegungen des Diaphragmas auftauchenden Gefässschattenfigur ergibt sich, dass von den Oeffnungen dieses Gitters nur etwa 3—4 auf den queren Durchmesser der centralsten Gefässchlinge in meinem rechten Auge gehen (Fig. 3). Nur manchmal und nur vorübergehend breitet sich diese gitterartige Erscheinung auf ein grösseres Areal aus.

Schon Krause (83) hat auf den Widerspruch hingewiesen, der darin liegt, dass die Stäbchenzapfen, die man als die lichtempfindende Schichte betrachtet, sich gleichsam selbst sehen sollen, und hat den Czermak'schen Versuch als Stütze seiner Theorie, dass die Stäbchenzapfenschicht katoptrisch wirkt, verwertet. Nun haben aber alle neueren Untersuchungen bewiesen, dass die Stäbchenzapfenschicht die lichtempfindende ist und ich selbst werde weiter unten imstande sein, einen weiteren Beweis für diese Ansicht zu erbringen. Wozu es aber führt, wenn man annimmt, dass in der Stäbchenzapfenschicht selbst die Ursache für jene

Erscheinung liegt, das zeigt die Arbeit Nuels, der dazu gelangte, innerhalb eines Zapfens bis 20 einzelne lichtempfindende Fasern zu supponieren.

Die in der Richtung der Verschiebungen des Diaphragmas erfolgende scheinbare Verschiebung der ganzen Figur beweist aber, dass jene Schichte, welche die Chagrinierung, resp. das mosaikartige Aussehen hervorruft, vor der lichtempfindenden Schichte gelagert sein muss. Bei der Zartheit der ganzen Erscheinung kann man nicht an gröbere Gebilde, wie die am Grunde der Fovea vorfindlichen Ganglienzellen, inneren oder äusseren Körner denken. Auch liegen dieselben in verschiedenen Ebenen, während man unbedingt ein sehr zartes, flächenhaft ausgebreitetes Gebilde als Ursache voraussetzen muss. Wenn wir aber annehmen, dass die lichtempfindende Schichte der Retina die Aussenglieder der Stäbchenzapfen sind — und wir haben oben bereits Beobachtungen angeführt, welche sehr ernstlich darauf hindeuten — so ergibt sich ein Weg zur Erklärung.

Die Membrana limitans externa ist eine zarte von zahlreichen, den Stäbchen und Zapfen entsprechenden Löchern durchbrochene Membran, welche, um die Worte Schwalbes (13) zu gebrauchen, „bei Flächenansichten als ein höchst zierliches Gitterwerk mit sehr dünnen Bälkchen und grösseren und kleineren runden Maschen erscheint". Von der Aussenfläche derselben erheben sich feine Fäserchen, deren Gesammtheit als Faserkorb von M. Schultze beschrieben worden ist und welche mit knötchenförmigen Verdickungen an der Limitans externa beginnen. Man ist wohl berechtigt für die Membrana limitans externa, da sie dem Stützgewebe der Retina angehört, einen anderen Brechungsindex anzunehmen als für die Stäbchen und Zapfen.

Es liegt nun sehr nahe, dieses feine Gitterwerk der Limitans externa, welches in einer gewissen Entfernung vor den lichtempfindenden Aussengliedern der Stäbchenzapfen liegt, als die Ursache der feinen Chagrinierung, beziehungsweise der mosaikartigen Zeichnung zu betrachten.

Würde es sich bei dem entoptischen Versuch durch Bewegung einer feinen Oeffnung vor dem Auge wirklich nur um parallele Lichtstrahlen, welche die Netzhaut treffen, handeln, so würde bei etwas schiefem Lichteinfall der Schatten je eines zwischen zwei Zapfeninnengliedern gelegenen Bälkchens der Limitans externa eventuell auf

je ein Zapfenaussenglied fallen, wie dies in der linken Hälfte von Figur 11 in 1000facher Vergrösserung schematisch dargestellt ist.

Es würde daraus nur eine gleichmässige geringere Beleuchtung des entoptischen Gesichtsfeldes im Gegensatze zu jenem Falle resultieren, wo das Licht die Zapfen parallel ihrer Längsachse durchsetzt.

In Wirklichkeit werden aber parallel auf die Foveola auffallende Strahlen durch die Brechung an der vorderen Fläche der Retina divergent gemacht. Liegt zufällig, wie dies thatsächlich sehr leicht geschehen kann, das Diaphragma bereits innerhalb der vorderen Brennweite des Auges, so sind die Strahlen im Glaskörper bereits divergent und werden durch die Brechung an der vorderen Fläche der Retina in der Foveola noch divergenter. Diese lichtzerstreuende Wirkung der Foveola ist unter Umständen durchaus nicht gering anzuschlagen. Die Beobachtung der ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Retina zeigt uns, dass der Brechungsindex der Retina von jenem des Glaskörpers nicht unbedeutend abweicht. Ich habe ferner (7, Seite 233) den Krümmungsradius der Foveola für eine mittlere Grösse des Reflexes der Foveola (des sogenannten Fovealreflexes) mit 0·3 *mm* berechnet. Man findet aber Augen, wo der Durchmesser dieses Reflexes ein minimaler ist, wo also der Krümmungsradius der Foveola sehr weit unter jener Zahl bleiben muss.

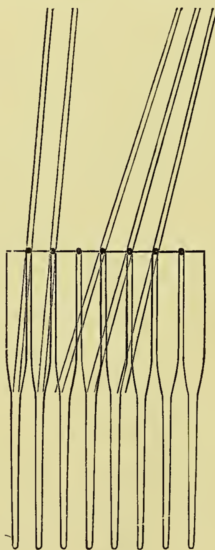


Fig. 11.

Aus der rechten Hälfte der Figur 11 ist nun ersichtlich, dass bei divergentem Strahleneinfall die Bälkchen der Limitans externa

derart einen Schatten auf die Aussenglieder der Zapfenschichte werfen können, dass einzelne der inneren Enden der Zapfenaussenglieder vom Lichte getroffen werden, andere nicht. (In Wirklichkeit wird der Strahlenverlauf dadurch etwas von dem in der Figur dargestellten abweichen, dass die Oeffnung im Diaphragma keine punktförmige ist, so dass die Strahlen, die auf die Retina fallen, auch nicht von einem Punkte im Glaskörper ausgehen.)

Es wird nun von der Divergenz der auf die Limitans externa auffallenden Strahlen, die wieder durch die Lage des Diaphragmas vor dem Auge und den Bau der Foveola bedingt ist, dann von der Entwicklung der Limitans externa, von der Länge und Breite der Zapfeninnenglieder und von dem Verhältnis dieser Factoren zueinander abhängen, ob man nur eine Chagrinierung oder eine wirkliche Mosaik von hellen Scheibchen wahrnimmt. Auch die festonierten Linien, die Nuel bei der Untersuchung mittels eines Spaltes gesehen hat, erklären sich auf diese Weise. Dabei ist es durchaus nicht nöthig, dass der Schatten der Limitans externa im ganzen Bereich der Foveola auf einmal so auf die Aussenglieder der Zapfen fällt, dass das Bild der Mosaik entsteht. Der Schatten wird vielmehr bei den kreisenden Bewegungen des Diaphragmas successive auf verschiedene Gruppen von Zapfenaussengliedern in der zur Wahrnehmung der Zapfenmosaik nöthigen Weise entworfen und aus den Nachbildern dieser Eindrücke setzt sich dann das entoptische Bild zusammen.

Nach dieser Erklärung müssten die hellen Scheibchen, die uns als Zapfenmosaik erscheinen, allerdings grösser sein als dem Durchmesser der Zapfen in der Fovea entsprechen würde.

Abgesehen von den grossen Fehlerquellen, welche solchen Schätzungen, wie sie Nuel und Wolffberg vorgenommen haben, anhaften, sei erwähnt, dass Nuel in einem Durchmesser seiner gefässlosen Stelle nur hundert Kreise der Zapfenmosaik gefunden hat, während die anatomische Untersuchung (Max Schultze) 120 erwarten lässt. Die von Nuel ebenfalls hervorgehobenen Beobachtungsfehler lassen sich aber auch zugunsten der Uebereinstimmung der Zahl mit unserer Erklärung anführen.

Auch wird natürlich diese Mosaik sich anscheinend in derselben Richtung verschieben, wie die vor dem Auge bewegte Oeffnung. Ist unsere Ansicht richtig, dann müsste diese Bewegung allerdings geringere Excursionen zeigen als die Gefässfigur. Dass dies wirklich der

Fall ist, das geht daraus hervor, dass selbst jene Beobachter, die, wie Wolffberg, speciell mit der Untersuchung der Zapfenmosaik sich beschäftigt haben, hervorheben, wie schwierig es sei, ein richtiges Urtheil über die parallactische Verschiebung derselben zu gewinnen. Helmholtz sah zwar eine der Verschiebung des Lichtes entgegengesetzte Bewegung der chagrinierten Stelle im ganzen. Doch bezieht sich seine Angabe auf jene Methode, wo ein lichter Punkt auf der Sklera bewegt wird, ein Verfahren, bei dem man nicht die allerfeinsten Gefässe sehen kann. Auch kann es bei einer verschiedenen Excursion zweier in derselben Richtung sich bewegender Bilder sehr leicht den Anschein gewinnen, als ob jenes, welches sich langsamer verschiebt, sich zu dem schneller Bewegten in entgegengesetzter Richtung verschieben würde. Ferner glaube ich, dass das Resultat meiner Untersuchungen als besonders beweiskräftig anführen zu können, da bei mir die Gefässschlingen so nahe dem Fixationspunkte liegen und ich infolge dessen mit weitaus grösserer Sicherheit als viele andere die Richtung der parallactischen Verschiebung zu beurtheilen imstande bin. Endlich hat Olshausen (66) die Verschiebung mit einem fixen Nachbilde verglichen und konnte ganz zweifellos die mit den Bewegungen des Diaphragmas gleichsinnige Verschiebung feststellen.

Unsere Ansicht macht es leicht verständlich, warum man die Zapfenmosaik nur in der Mitte der Fovea centralis sieht. Es erklärt sich dies, abgesehen von der Wirkung der Foveola auf den Strahlenverlauf, auch durch die Verdünnung der Retina am Grunde der Fovea, welche zur Folge hat, dass die vorderen Netzhautschichten hier nicht als zarter Schleier (wie wir dies bei der ophthalmoskopischen Untersuchung sehen) vor der lichtempfindenden Schichte liegen.

Die hier vorgetragene Erklärung für die entoptische Wahrnehmung der sogenannten Zapfenmosaik scheint mir in der That so allen Anforderungen zu entsprechen, es scheint mir so wenig möglich, dabei an eine andere Structur als die genannte zu denken, dass ich diese entoptische Erscheinung selbst wieder als eine weitere Stütze für die Ansicht anführen möchte, dass in den Aussengliedern der Stäbchenzapfen die lichtempfindenden Stellen zu suchen sind.

Das grössere gitterartige Muster, das ich bei raschen Bewegungen des Diaphragmas auftauchen sehe, könnte vielleicht auf die stärkeren Stützfasern der Retina am Grunde der Fovea zurückgeführt werden.

Schlussbetrachtungen.

Den vorstehend mitgetheilten Untersuchungen lässt sich aber noch ein höheres Interesse abgewinnen.

Bekanntlich sind die Stäbchen und Zapfen nicht von allen als lichtpercipierende Schichte der Retina angesehen worden. In diesem Sinne sprachen sich vor Jahren Bidder und Blessig aus, von denen der letztere sogar nur die Opticusfasern als nervös erklärte. Viel später hat W. Krause (83) die Ansicht vertreten, dass Stäbchen und Zapfen mit den Müller'schen Radialfasern in Zusammenhang stehen und deren letzte Ausläufer darstellen, während die Sehnervenfasern an der äusseren Grenze der inneren Körnerschichte endigen sollen. In neuester Zeit endlich ist Borysikiewicz gegen die sonst allgemein angenommene Ansicht über die Natur der Stäbchen und Zapfen aufgetreten. Es heisst auf Seite 64 seiner wiederholt citierten Arbeit (31): „die Behauptung, dass die Stäbchen und Zapfen Endorgane der Nervenfasern sind, hat sich nicht bewährt.“ Nachdem Borysikiewicz es dann als wichtigstes Resultat seiner Untersuchungen bezeichnet hat, dass „die Stäbchen und Zapfen zweifellos eine directe Fortsetzung der Müller'schen Fasern sind“, heisst es ebenfalls Seite 64: „Insoweit also die Annahme berechtigt ist, dass das Stäbchenorgan mit der Lichtempfindung in irgend einer Beziehung stehe, muss dieselbe Annahme auch für die Müller'schen Fasern zugelassen werden.“ Man würde nun erwarten, dass Borysikiewicz die lichtpercipierende Schichte der Retina in anderen Theilen der Retina, etwa in den Körnerschichten suchen würde. Doch lesen wir ebenfalls auf derselben Seite, nur wenige Zeilen tiefer, den Satz: „Es bleibt also vorläufig keine andere Annahme zulässig, als die lichtempfindenden Stellen in der Region von der inneren bis über die äussere Körnerschicht hinaus, u. zw. innerhalb der Müller'schen Röhren zu suchen.“ Wenn Borysikiewicz einerseits die Stäbchen und Zapfen als Enden der Müller'schen Fasern ansieht und daraus schliesst, dass sie nicht die Endorgane der Nervenfasern sind, was berechtigt ihn dazu, die lichtempfindenden Stellen in den Müller'schen Röhren (so werden von ihm die Müller'schen Fasern genannt) zu suchen, deren Verbindung mit den Nervenfasern doch weder Borysikiewicz, noch sonst jemand behauptet oder nachgewiesen hat? Völlig unverständlich erscheint es ferner, wenn Borysikiewicz in dem zuletzt citierten Passus angibt, dass er die licht-

empfindenden Stellen „in der Region von der inneren bis über die äussere Körnerschichte hinaus, u. zw. innerhalb der Müller'schen Röhren" vermuthet. Verfolgt man die Müller'schen Röhren über die äussere Körnerschichte hinaus, so kommt man ja gerade nach den Untersuchungen von Borysikiewicz zu den Stäbchenzapfen, die nach diesem Autor die directe Fortsetzung der Müller'schen Fasern sind.

Andererseits haben aber zahlreiche Arbeiten seitens vieler Anatomen und Physiologen, deren Namen ich hier nicht zu nennen brauche, eine Menge triftiger Gründe für die Ansicht beigebracht, dass die Stäbchen und Zapfen die lichtempfindenden Theile der Retina sind, so dass es fast überflüssig erscheint, noch neue Beweise dafür ins Treffen zu führen. Dennoch möge es mir gestattet sein, hier einiges zu erwähnen, was sich aus den bereits beschriebenen entoptischen Beobachtungen und aus einem noch mitzutheilenden Versuche in dieser Richtung ergibt.

H. Müller (9) hat bereits die Aderfigur und deren parallactische Verschiebung bei Bewegungen der sie erzeugenden Lichtquelle als Beweis dafür herangezogen, dass die Lichtempfindung in der Stäbchenzapfenschichte erfolgt. H. Müller hat aber nur die grösseren Netzhautgefässe zu seinen Messungen und Berechnungen benützt. Bei der von ihm angewendeten Methode der Erzeugung der Aderfigur mittels Verschiebung eines Lichtpunktes auf der Sklerotica sieht man — wie dies auch von Becker (53) angegeben wird — ebenso wie bei der Bewegung einer Kerzenflamme vor dem Auge nur die grösseren Netzhautgefässe. Blickt man aber durch eine stenopaeische Lücke auf eine helle Fläche, dann kann man sich die feinsten Capillaren speciell in der Gegend der Macula zur Anschauung bringen.

Die von H. Müller gefundenen Maasse (0·17—0·32 *mm*) für die Entfernung der schattenwerfenden Gefässe von der lichtpercipierenden Schichte entsprechen auch nicht der Lage der feinsten, am weitesten chorioïdealwärts gelegenen Capillaren, wie wir sie bei der anatomischen Untersuchung fanden. Ja H. Müller sagt ausdrücklich: „Bei dem allen dürften aber nur wenige Gefässe im gelben Flecke und seiner Umgebung näher oder ferner von den Zapfen liegen als 0·2—0·3 *mm* und jedenfalls nicht um sehr erhebliches." Dabei kann es sich unmöglich um die feinsten Capillaren handeln, welche sich ja noch bis zur Zapfenfaserschichte hin verästeln.

Da nun meine Augen, in denen die Capillaren so weit gegen die Mitte der Fovea hin vorrücken, sehr geeignet zur

Beobachtung und Messung der parallactischen Verschiebung der Gefässschatten sein mussten, so beschloss ich in dieser Richtung einige Versuche anzustellen. Zwar verspricht sich H. Müller von der Methode der entoptischen Beobachtung der Aderfigur durch Bewegung einer feinen Oeffnung vor dem Auge nur wenig, „da man, um eine etwas bedeutendere Verschiebung zu erhalten, grössere Bewegungen vor der erweiterten Pupille machen muss, dabei aber die unverrückte Fixation eines Punktes schwierig ist.“ Doch ist dies eben der einzige Weg, um sich die Capillaren in der Umgebung des Fixationspunktes zur Wahrnehmung zu bringen.

Es lässt sich nun die Verschiebung der Schatten dieser Capillarschlingen und deren Abstand von der lichtempfindenden Schichte in der folgenden Weise berechnen: Ich liess einen kleinen Apparat construieren, der aus einem in einer Führung beweglichen Schieber bestand, in welchem eine Oeffnung von 1·4 *mm* Durchmesser angebracht war. Die Excursion dieser Oeffnung bei den Bewegungen des Schiebers konnte durch Verstellen einer Schraube beliebig reguliert und gemessen werden. Hält man nun diesen Apparat vor das Auge oder befestigt ihn auf einem Stativ, so dass die Oeffnung in dem Schieber etwa im vorderen Brennpunkte des Auges, dessen Pupille durch Homatropin erweitert ist, liegt und blickt auf eine entfernte mit einer Theilung versehene helle Fläche, so lässt sich für eine bestimmte Excursion des Diaphragmas die Verschiebung des Gefässschattens auf der lichtempfindenden Schichte der Retina messen.

Als helle Fläche benützte ich eine matte Glasscheibe, die mit senkrechten, 1 *cm* von einander entfernten dunklen Strichen versehen war. In der Mitte eines dieser Striche war der Fixationspunkt durch einen dunklen Fleck markiert. Ausserdem war, um das Zählen der Striche leichter zu ermöglichen, der zweite Strich nach links von diesem Fleck etwas breiter gemacht. Diese matte Scheibe wurde von rückwärts durch eine mit einem Reflector versehene Lampe möglichst gleichmässig beleuchtet. Ich befand mich in einer Entfernung von 8 *m* von der matten Glasscheibe und bewegte das Diaphragma in horizontaler Richtung. Ich konnte nun auf diese Weise constatieren, dass bei einer Verschiebung des Diaphragmas von 2·9 *mm* der Schatten der dem Fixationspunkte zunächst gelegenen senkrecht verlaufenden Capillargefässe meines rechten Auges sich um nicht mehr als 1 *cm* verschob. Anfangs fand ich diese Verschiebung, so wie dies auch

H. Müller bemerkt, viel grösser, was wohl damit zusammenhängt, dass man unwillkürlich mit dem Auge den Gefässschlingen folgt. Es hat dies bei der blossen Beobachtung und auch bei der Messung der Entfernung zweier Gefässschatten, die natürlich immer gleich weit voneinander bleiben, keinen so grossen Einfluss als gerade hier. Dennoch konnte ich durch wiederholte Versuche feststellen, dass die scheinbare Verschiebung der Gefässschatten nicht über das erwähnte Maass hinausgieng. Es ergibt das eine Verschiebung des Schattens auf der Netzhaut = 0·018 *mm*. Es ist zu bemerken, dass bei einer grösseren Verschiebung des Diaphragmas die Beobachtung nicht mehr mit der wünschenswerten Sicherheit gemacht werden konnte. Zu der durch Messung gefundenen Verschiebung des Diaphragmas wurde nun noch der Durchmesser der Oeffnung addiert, da die am schiefsten einfallenden Strahlen einmal durch den nasalwärts gelegenen, in der anderen Endstellung aber durch den temporalwärts gelegenen Rand der Oeffnung bestimmt werden.

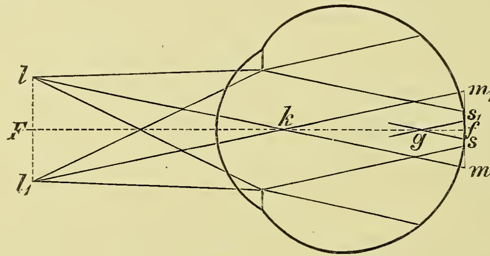


Fig. 12.

Befindet sich nun der nasale Rand der Oeffnung, wenn der Schieber am meisten gegen die Nase geschoben ist, in l (Fig. 12) und liegt der temporale Rand der Oeffnung dann, wenn der Schieber so weit als möglich schläfenwärts geschoben ist, in l_1, so ist durch die Linien l k m und l_1 k m_1 die Richtung der Strahlen im Glaskörper gegeben. l l_1 findet man, indem man zur Excursion des Diaphragmas (2·9 *mm*), den Durchmesser der Oeffnung (1·4 *mm*) addiert. Ist g ein Gefäss, welches in einer bestimmten Entfernung g f vor der lichtempfindenden Schichte der Retina liegt, so finden wir den Ort des Schattens dieses Gefässes auf der lichtempfindenden Schicht, wenn wir g s || k m und g s_1 || k m_1 ziehen. s s_1 entspricht dann der Verschiebung des Gefässschattens auf der Retina. m m_1 lässt sich, da ja das Diaphragma in der vorderen Brennebene angenommen wird und somit F k = 20 *mm*, k f aber gleich 15 *mm* ist, leicht berechnen und es ist

für $l\,l_1 = 4{\cdot}3$ *mm*, $m\,m_1 \doteq 3{\cdot}2$. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke F l k und g s f findet man dann, da $s\,f = 0{\cdot}009$ ist, $g\,f = 0{\cdot}08$ *mm*. Eine Zahl, die sehr gut mit den anatomischen Verhältnissen übereinstimmt.

Es ist selbstverständlich, dass diese Berechnung keinen Anspruch auf eine absolute Genauigkeit macht, ein Nachtheil, der übrigens auch den Berechnungen H. Müllers, wie er selbst angibt, anhaftet. Immerhin erscheint mir aber der vorstehende Versuch von Interesse, da die Berechnung hier für Gefässe ausgeführt wurde, welche schon infolge des anatomischen Baues der Fovea sehr nahe an der Stäbchenzapfenschicht liegen müssen, so dass schon hierdurch die Zahl jener Schichten, in welchen der Ort der Lichtempfindung zu suchen wäre, auf die äussere Faserschicht, äussere Körnerschicht und auf die Stäbchenzapfenschicht beschränkt wird. Die durch den Versuch gefundene Zahl entspricht aber vollkommen der im Präparate gefundenen Entfernung zwischen den Capillaren am Grunde der Fovea und der Stäbchenzapfenschicht.

Aber noch in anderer, noch genauerer Weise können wir dieser Frage nahe treten. Ich habe einen grösseren Nicol so an einem mit einer Kinnstütze versehenen Stativ befestigen lassen, dass er in verschiedenen Richtungen um seine Achse drehbar war, so dass der Polarisationsebene der von ihm durchgelassenen Strahlen eine beliebige Lage gegeben werden konnte. Es war ferner die Führung, in welcher das Diaphragma zu verschieben war, derart an dem Nicol angebracht, dass sie um die Längsachse des Nicol gedreht werden konnte. So war es möglich, das Diaphragma stets senkrecht auf die Richtung der Polarisationsbüschel zu bewegen. Da die Polarisationsbüschel eine vergängliche Erscheinung sind, so musste natürlich der Nicol und in entsprechender Weise auch der Apparat mit dem Diaphragma öfter gedreht werden.

Brachte ich nun mein Auge hinter diesen Apparat, so dass die Oeffnung in dem Diaphragma etwa im vorderen Brennpunkte des Auges lag, so konnte ich gleichzeitig die Gefässschatten und die Haidinger-schen Büschel beobachten. Indem nun das Diaphragma in horizontaler Richtung verschoben wurde, wenn die Haidinger'schen Büschel vertical lagen und umgekehrt, gelang es festzustellen, dass die Haidinger'schen Büschel sich stets mit der Gefässschattenfigur bewegen.

Nun haben wir aber gesehen, dass die die Haidinger'schen Büschel erzeugende Schichte die äussere Faserschichte ist. Hinter derselben liegen nur mehr die äussere Körnerschicht und die Stäbchenzapfenschicht. Die ganz sicher nachweisbare Verschiebung der Haidinger'schen Büschel mit der Aderfigur kann nur dann erklärt werden, wenn zwischen der lichtempfindenden Schichte und jener Schichte, welche die Haidinger'schen Büschel hervorruft, noch ein gewisser Zwischenraum existiert. Die lichtempfindenden Stellen können also nicht in der der äusseren Faserschichte unmittelbar anliegenden äusseren Körnerschicht, sondern nur in der Stäbchenzapfenschicht gesucht werden.

Man könnte vielleicht erwarten, dass die Verschiebung der Haidinger'schen Büschel eine etwas geringere sei, als die der Aderfigur, da die Gefässe vor der äusseren Faserschichte liegen. Doch konnte ich dies nicht wahrnehmen. Die Erklärung dafür lässt sich leicht darin finden, dass die Haidinger'schen Büschel einerseits zu wenig scharf begrenzt sind, als dass man ein Zurückbleiben derselben gegen die Aderfigur constatieren könnte, andererseits liegen ja gerade die centralsten Capillarschlingen, um die es sich hier nur handeln kann, der äusseren Faserschichte unmittelbar auf, so dass eine verschiedene Excursion der Gefässfigur und der Haidinger'schen Büschel, selbst wenn diese letztere vollkommen scharf begrenzt gesehen würde, nicht zu beobachten wäre.

Nachtrag.

Als der Druck dieses Buches fast vollendet war, erschien eine neue Arbeit von Borysikiewicz: „Weitere Untersuchungen über den feineren Bau der Netzhaut. Wien und Leipzig bei Fr. Deuticke." Obwohl ein Theil der darin gemachten Angaben schon in den früheren Publicationen des Autors enthalten und von mir im vorliegenden Buche bereits widerlegt sind, so muss ich mich doch noch mit dieser letzten Arbeit von Borysikiewicz beschäftigen, theils weil er einige seiner früheren Ansichten jetzt bedeutend modificiert hat, theils weil er meinen im Jahre 1891 veröffentlichten Untersuchungen über den Bau der Fovea entgegentritt und weil ich mich endlich auch mit dem, was Borysikiewicz als neue Resultate seiner Untersuchungen vorbringt, nicht einverstanden erklären kann.

Borysikiewicz hält auch jetzt noch „die Stäbchen und Zapfen mit den zugehörigen Fasern für eine Fortsetzung, beziehungsweise für die Endigung der Müller'schen Radialfaser." Wir vermissen aber bei der Begründung dieser Ansicht vollkommen die Verwendung aller neueren Färbungsmethoden. Borysikiewicz motiviert dies in der Einleitung folgendermaassen: „So wertvoll und unentbehrlich die Färbungsmethoden für die histologische Wissenschaft sind, dürfen wir von ihnen doch nicht mehr erwarten als eben die Färbung der Gewebe. Ob das gefärbte Präparat den thatsächlichen Verhältnissen im lebenden Organismus entspricht, darüber geben nur vollkommen gut conservierte Organtheile verlässlichen Aufschluss." Man würde darnach erwarten, dass solche dem Autor zur Verfügung gestanden seien. Doch sagt er selbst gleich darauf: „Ganz einwandfreie Conservierungsmittel besitzen wir nicht."

Die Stäbchen, die der Autor im Jahre 1887 als einen Schlauch von 60 μ Länge und 6—7 μ Dicke bezeichnet, sind jetzt nur 2—2·5 μ breit. Stäbchen und Zapfen sollen gleich lang sein. Die beigedruckte ein Stäbchen darstellende Figur war aber — ebenso wie mehr als ein Drittel sämmtlicher Figuren — schon in der im Jahre 1887 erschienenen Schrift von Borysikiewicz enthalten und wird dort als eine Darstellung jener Formen der Stäbchen bezeichnet, wie sie „den Verhältnissen in vivo am nächsten stehen“ — einer der sehr zahlreichen inneren Widersprüche, welche in dieser so wie in der ersten Arbeit von Borysikiewicz zu finden sind.

Bezüglich der sogenannten exponierten äusseren Körner gibt Borysikiewicz ein Citat aus einer Arbeit von Henle (siehe das folgende Literaturverzeichnis 44), das beweisen soll, dass Henle bereits im Jahre 1852 diese exponierten Körner gesehen haben soll. Henle beschreibt aber eiförmige Körperchen in den Zapfen, die hie und da in zwei Halbkugeln getheilt waren und sagt: „nur ausnahmsweise und undeutlich sah ich in den ovalen Körperchen oder deren halbkugelförmigen Hälften etwas, das sich wie ein geschlossenes Bläschen oder wie ein Kern ausnahm — ein Passus, der übrigens von Borysikiewicz selbst citiert wird, aber durchaus nicht dafür spricht, dass Henle Körner in den Zapfen gesehen hat.

In der Anmerkung 12 erwähnt Borysikiewicz zunächst, dass ihm, als er seine ersten Untersuchungen über die Retina im Jahre 1887 veröffentlichte, der Aufsatz von Stöhr über Zapfen mit vor der Limitans liegenden Kernen aus dem Jahre 1886 unbekannt geblieben war. Er citiert auch, dass Stöhr die Vermuthung ausgesprochen hat, es könne dieser Ortswechsel der Kerne mit den von Engelmann beobachteten Bewegungen der Zapfen im Zusammenhang stehen. Schliesslich sagt Borysikiewicz: „mit Beziehung auf die dargelegten Thatsachen muss ich daher die Priorität der Beobachtung, dass die äusseren Körner unter gewissen Einflüssen ihren Ort wechseln können, unbedingt für mich in Anspruch nehmen.“ Es könnte sich da doch nur darum handeln, dass Borysikiewicz das bewiesen hätte, was Stöhr vor ihm vermuthet hatte. Man wird aber vergeblich in den Schriften Borysikiewicz's nach diesem Beweise suchen.

Die Stäbchen- und Zapfenfasern, zwischen denen Borysikiewicz keinen constanten Unterschied in der Dicke finden kann,

endigen nach der neuesten Darstellung Borysikiewicz's mit „einer eigenartigen Anschwellung an der äusseren Grenze der äusseren granulierten Schicht". Im Bericht über den Anatomencongress 1892 im anatomischen Anzeiger heisst es: „Nach M. Schultze, Merkel, Schwalbe u. a. endigen die Zapfenfasern an der Aussenseite der äusseren granulierten Schicht mit einer kegelförmigen Anschwellung. Aus Borysikiewicz's Präparaten ergibt sich, dass im Bereiche der Macula lutea, dicht über der äusseren granulierten Schicht, sich ein deutliches Stratum findet, welches aus einer Reihe cubischer Gebilde besteht, die in ihrer Mitte ein oder zwei dunkle Körnchen zeigen." Es ist also hier von keinem Zusammenhang dieser cubischen Gebilde mit den Zapfenfasern die Rede, sonst würde sich ja die ganze Entdeckung von Borysikiewicz darauf beschränken, dass die Zapfenfasern statt mit kegelförmigen mit cubischen Anschwellungen endigen. In der neuesten Arbeit von Borysikiewicz heisst es aber (Seite 25): „Früher habe ich die einzelnen Anschwellungen als Kerne mit Kernkörperchen aufgefasst, jetzt ändere ich meine ursprüngliche Ansicht dahin, dass die Anschwellung als eine mit einem Kerne versehene Zelle zu betrachten ist. Zu dieser Ueberzeugung gelangte ich hauptsächlich durch Beobachtung von Kerntheilungsfiguren an den beschriebenen Elementen." Auch hier fehlt aber jede Angabe darüber, ob sich diese Kerne mit Kernfärbemitteln färben liessen. Man muss wohl trotz der angeführten Beobachtung von Kerntheilungsfiguren diese Angabe verlangen, nachdem man auf der vorhergehenden Seite (24) den höchst sonderbaren Satz gelesen hat: „Die Anschwellung beginnt hier" (im Bereiche der Fovea) „in Form einer kleinen platten Zelle, die in der Mitte einen dunklen, scharf ausgebildeten **Punkt, gleichsam einen Kern** trägt." (!)

Auf Seite 35 heisst es: „Innerhalb der inneren Körnerschicht ist ein Radialfaserkern nicht vorhanden und auf der nächsten Seite schon behauptet Borysikiewicz: „Die inneren Körner sind in die H. Müller'sche Radialfaser eingebettet" (!). Die inneren Körner sollen sich ja innerhalb der Müller'schen Faser, die von Borysikiewicz auch als „Müller'scher Schlauch" bezeichnet wurde, und an der er „eine dichtere Hülle und einen weniger consistenten Inhalt unterscheidet" (Seite 37), unter Umständen verschieben können und so in die körnerlose Abtheilung der Stäbchen- und

Zapfenfasern gelangen können. Dies wären dann die „exponierten inneren Körner“.

Das, was Borysikiewicz zum Schluss seiner Schrift über die Structur des gelben Fleckes schreibt, enthält ebenfalls zahlreiche überraschende Merkwürdigkeiten.

Zunächst bestimmt er den gelben Fleck „im anatomischen Sinne“, also jene Stelle, an welcher die Ganglienschicht durch mehr als eine Reihe von Nervenzellen vertreten ist (S. 42). Da aber Borysikiewicz selbst angibt, dass von der Mitte der äusseren Begrenzung des Sehnerven im Bereiche einer 1 *mm* breiten, horizontal nach aussen verlaufenden Strecke eine zweireihige Ganglienzellenschicht nachzuweisen ist, so würde nach Borysikiewicz der gelbe Fleck bereits am Papillenrand beginnen. (!) Er selbst setzt freilich hinzu: „Allerdings ist es sehr fraglich, ob bei dieser Definition des gelben Fleckes der Ausdruck „gelb“ noch zu rechtfertigen ist.“

Wir erfahren ferner, dass die Zapfen der Macula „gegen die Mitte des gelben Fleckes allmählich die Merkmale der peripheren Stäbchen annehmen, also zu Stäbchen werden“ (S. 47). Während Borysikiewicz aber in seiner ersten Arbeit den bereits erwähnten Ausspruch gethan hat, dass er die Stäbchen und Zapfen „sowohl im anatomischen, als im physiologischen Sinne für gleichwertig“ hält, heißt es jetzt (S. 47): „Die Benennung dieser Elemente“ (in der Mitte der Macula) „mit dem Ausdrucke Stäbchen oder Zapfen hat bloss scheinbar eine untergeordnete Bedeutung. Haben doch viele Histologen und Physiologen die Neigung, die Stäbchen als lichtempfindende und die Zapfen als farbenpercipierende Elemente aufzufassen.“ Dann heisst es (ebenfalls Seite 47): „Für mich besteht seit langer Zeit, wenigstens in Betreff der Peripherie der Netzhaut die wichtigste morphologische Differenz zwischen Stäbchen und Zapfen darin, dass das breitere Innenglied des Zapfens in seinem Innern regelmässig das sogenannte exponierte äussere Korn trägt.“ Man blättere zurück bis S. 9 und man wird Folgendes von den Zapfen zu lesen bekommen: „Am äusseren Ende des Innengliedes ist, wie am Stäbchen gleichfalls ein Kern mit Kernkörperchen, und zwar **häufiger** wie am Stäbchen nachweisbar. Im Innern des Zapfenkörpers findet sich **regelmässig** ein Körper, welcher vom morphologischen Standpunkte in jeder Beziehung dem äusseren Korn gleicht, und den ich „exponiertes äusseres“ Korn nenne.“

Unter den „Ansichten einiger Autoren“ erwähnt Borysikiewicz, dass ich in drei Fällen (veröffentlicht in den „Lichtreflexen der Netzhaut“) an der äusseren Körnerschicht ähnliche Verhältnisse wie Wadsworth gefunden habe. Daraus würde jedermann schliessen, es sei meine Ansicht, dass die äussere Körnerschicht in der Mitte der Fovea verdickt sei. Man braucht aber nur die Anmerkung 39 bei Borysikiewicz zu lesen und man wird finden, dass gerade in jenen meiner Fälle, wo die Retina am besten conserviert war, die Schnitte senkrecht zur Netzhautoberfläche und entsprechend dünn waren, eine Verdünnung der äusseren Körnerschichte in der Mitte der Fovea zu finden war.

Ueber die Form der Centralgrube schreibt Borysikiewicz (S. 54), dass „dieselbe eine nach vorne concave Fläche darstellt und nirgends eine Böschung im Sinne von Kuhnt und Dimmer und ebensowenig eine Foveola fundi im Sinne von Kuhnt und Dimmer aufweist. Minimale Depressionen kommen mitunter an den verschiedensten Stellen der Fovea vor, dürfen aber nicht als Zustände betrachtet werden, die den natürlichen Verhältnissen entsprechen. An einem Auge war der Fundus foveae (Fig. 62) eben; diese Form ist sicher gleichfalls ein Resultat der härtenden Flüssigkeit; ich habe dieselbe an den besterhaltenen Präparaten nie gefunden und auch nie an gesunden Augen, welche unmittelbar nach der Enucleation zu diesem Zwecke bei starker Loupenvergrösserung angeschaut wurden; immer bot die Fovea eine quer elliptische, gleichmässig concave Oberfläche dar“.

Durch Betrachtung der Retina von der Fläche mit der Loupe sind diese Verhältnisse aber überhaupt nicht zu eruieren, sonst hätte man sie schon lange gekannt. Ein Blick ferner auf die Figuren 58, 59, 60, 61, 62, 63 von Borysikiewicz lehrt, dass Borysikiewicz Präparate vor sich gehabt hat, in denen die Fovea schlecht conserviert war. Auch in dem Falle, welcher die Figur 57 darstellt und wo die Netzhaut besser erhalten war, war die Fovea ganz bestimmt durch dieselben Vorgänge, wie ich sie im anatomischen Theile dieses Buches näher beschrieben habe, in ihrer Gestalt verändert. Die von Borysikiewicz verwendeten Härtungsflüssigkeiten ($^1/_{10}$ % Chromsäure, $3^1/_2$ % Salpetersäure, Müller'sche Flüssigkeit und $^1/_2$—1 % Ueberosmiumsäurelösung) sind eben mit Ausnahme der $3^1/_2$ % Salpeter-

säurelösung nicht zur Fixierung der Fovea geeignet. Aber auch bei Anwendung der Salpetersäurelösung schrumpft die Fovea oft bedeutend zusammen, wie Fig. 59 bei Borysikiewicz zeigt.

Die hier hervorgehobenen Unrichtigkeiten und Widersprüche sind übrigens nicht die einzigen, welche die neueste Arbeit von Borysikiewicz enthält. Wer sich die Mühe nehmen will, dieselbe durchzulesen, wird noch zahlreiche andere finden, die ich hier, als zu dem in meinem Buche behandelten Thema in keiner directen Beziehung stehend, nicht erwähnt habe.

Literaturverzeichnis.

1. Hulke, On the anatomy of the fovea centralis of the human retina. Philosophical transactions vol. 157, 1867.

2. Max Schultze, Zur Anatomie und Physiologie der Retina, M. Schultzes Archiv. Bd. II. 1866.

3. F. Merkel, Ueber die Macula lutea des Menschen und die Ora serrata einiger Wirbelthiere, Leipzig 1870.

4. O. F. Wadsworth, The fovea centralis in man. Beiträge zur Ophthalmologie, Fr. Horner gewidmet, 1881.

5. Kuhnt, Ueber den Bau der Fovea centralis des Menschen. Sitzungsberichte der Versammlungen der ophthalmologischen Gesellschaft in Heidelberg, 1881.

6. G. Schwalbe, Lehrbuch der Anatomie des Auges, 1887.

7. F. Dimmer, Die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut nebst Beiträgen zur normalen Anatomie der Netzhaut. Wien 1891.

8. Michaelis, Ueber die Retina, besonders über die Macula lutea und das Foramen centrale. Verhandlungen der Leopoldin.-Carolin. Akademie der Naturforscher. 1842, 20. Bd.

9. H. Müller, Anatomisch-physiologische Untersuchungen über die Retina des Menschen und der Wirbelthiere. Beckers Sammlung, Seite 52.

10. Henle, Eingeweidelehre. 1875.

11. A. Schaper, Zur Histologie der menschlichen Retina, speciell der Macula lutea und der Henle'schen Faserschicht. Archiv für mikroskopische Anatomie, Bd. LXI.

12. M. Schultze, Die Retina in Strickers Handbuch der Gewebelehre, 1871.

13. G. Schwalbe, Die Retina in Graefe-Saemisch, Handbuch der gesammten Augenheilkunde. Bd. I, 1874.

14. Kuhnt, Histologische Studien der menschlichen Netzhaut. Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaften XXIV, 1890.

15. A. Dogiel, Die Neuroglia der Retina des Menschen. Archiv für mikroskopische Anatomie. Bd. XLI, 1892.

16. A. Dogiel, Ueber die nervösen Elemente in der Retina des Menschen, II. Archiv für mikroskopische Anatomie. Bd. XL, 1892.

17. J. Henle und F. Merkel, Ueber die sogenannte Bindesubstanz der Centralorgane des Nervensystems. Zeitschrift für rat. Medicin, 3. R. Bd. 34, 1869.

18. Boll, Die Histologie und Histogenese der nervösen Centralorgane. Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten. Bd. IV, 1873.

19. J. Michel, Ueber die Ausstrahlungsweise der Opticusfasern in der menschlichen Retina. Festschrift zu Ehren Ludwigs, 1874.

20. W. Müller, Ueber die Stammesentwicklung des Sehorganes der Wirbelthiere. Festschrift zu Ehren Ludwigs. 1874.

21. A. Dogiel, Ueber die Retina des Menschen. Internationale Monatsschrift für Anatomie und Histologie von Krause, Bd. I, 1884.

22. Schiefferdecker, Studien zur vergleichenden Histologie der Retina. Archiv für mikroskopische Anatomie, XXVIII. Bd. 1886.

23. Ferrucio Tartuferi, Sull' anatomia della retina. Internationale Zeitschrift für Anatomie und Physiologie von Krause, Bd. IV, 1887.

24. A. Dogiel, Ueber die nervösen Elemente in der Retina des Menschen. Archiv für mikroskopische Anatomie, Bd. XXXVIII, 1891.

25. Ramony Cajal, Neue Darstellung vom histologischen Bau des Centralnervensystems. Archiv für Anatomie und Physiologie, 1893, Anatomische Abtheilung, V. und VI. Heft.

26. E. Kallius, Untersuchungen über die Netzhaut der Säugethiere. Anatomische Hefte von Merkel und Bonnet, X. Heft, 1894.

27. Bergmann, Zur Kenntnis des gelben Fleckes der Netzhaut. Zeitschrift für rationelle Medicin, 1854.

28. J. Henle, Weitere Beiträge zur Anatomie der Retina. Göttinger Nachrichten, 1864.

29. Merkel, Ueber die menschliche Retina. Archiv für Ophthalmologie XXII. Bd. 4, 1876.

30. Borysikiewicz, Congress der anatomischen Gesellschaft 1892. Anatomischer Anzeiger 1892.

31. Borysikiewicz, Untersuchungen über den feineren Bau der Netzhaut. Wien, 1887.

32. Chievitz, Untersuchungen über die Area centralis retinae. Archiv für Anatomie und Physiologie, 1889.

33. Schaffer, Die Färbung der menschlichen Retina mit essigsaurem Hämatoxylin. Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Bd. XCIX, Abth. III, 1890.

34. Welcker, Untersuchungen der Retinazapfen und des Riechhautepithels bei einem Hingerichteten. Zeitschrift für rationelle Medicin. Bd. XX, 1863.

35. Ph. Stöhr, Beiträge zur mikroskopischen Anatomie des menschlichen Körpers. Verhandlungen der physik.-medic. Gesellschaft in Würzburg. XX. Bd., 1887.

36. Solger, Demonstration im Greifswalder medicinischen Vereine. 2. November 1889. Deutsche medicinische Wochenschrift XVI, 1890, Nr. 10.

37. J. H. Chievitz, Die Area und Fovea centralis beim menschlichen Foetus. Internationale Zeitschrift für Anatomie und Physiologie, 1887, IV. Bd.

38. J. H. Chievitz, Ueber das Vorkommen der Area centralis retinae in den vier höheren Wirbelthierclassen. Archiv für Anatomie und Physiologie, Anat. Abtheilung, 1891.

39. J. W. Barett, The distribution of blood vessels in the retina of mammals. Journ. of physiol. VII. p. 230. 1886. Citiert nach Nagels Jahresbericht für Ophthalmologie.

40. Kölliker, Ueber einige an der Leiche eines Hingerichteten angestellte Versuche und Beobachtungen. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. Bd. III, 37.

41. Max Schultze, Ueber den gelben Fleck der Retina. Bonn, 1866.

42. Schmidt-Rimpler, Die Macula lutea, anatomisch und ophthalmoskopisch. Archiv für Ophthalmologie, XXI. 3, 1875.

43. Kühne, Untersuchungen aus dem physiologischen Institute in Heidelberg. Bd. II.

44. Henle, Versuche und Beobachtungen an einem Enthaupteten. Zeitschrift für rationelle Medicin, 1852.

45. Dittrich, Gerlach und Herz, Anatomische Beobachtungen und physiologische Versuche an den Leichen von zwei Hingerichteten. Prager Vierteljahresschrift, 1851.

46. Preyer, Ueber anomale Farbenempfindungen und physiologische Grundfarben. Pflügers Archiv, I, 1868.

47. Hering, Ueber individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes. Lotos, neue Folge, Bd. VI, 1885.

48. M. Sachs, Ueber die specifische Lichtabsorption des gelben Fleckes der Netzhaut. Pflügers Archiv. L, 1891.

49. Hering, Ueber den Einfluss der Macula lutea auf spectrale Farbengleichungen. Pflügers Archiv, LIV, 1893.

50. Boll, Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Archiv für Anatomie und Physiologie, 1877.

51. D. P. Johannides, Die gefässlose Stelle der menschlichen Retina und deren Verwertung zur Bestimmung der Ausdehnung der Macula lutea. Archiv für Ophthalmologie, XXVII, 2.

52. Th. Leber. Bemerkungen über das Gefässystem der Netzhaut in der Gegend der Macula. Graefes Archiv für Ophthalmologie, XXVII, 2.

53. O. Becker, Die Gefässe der menschlichen Macula lutea, abgebildet nach einem Injectionspräparate von Heinrich Müller. Graefes Archiv für Ophthalmologie. XXVII, 1.

54. G. Denissenko, Einige Beobachtungen über die Gefässe in der Fovea centralis der Netzhaut des Menschen. Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften, 1880.

55. Gerlach jun., Ueber die Gefässe der Macula lutea. Sitzungsberichte der physik.-medicinischen Gesellschaft zu Erlangen, 1881.

56. v. Reuss, Notiz über die Netzhautgefässe im Bereiche der Macula lutea bei Embolie der Centralarterie. Archiv für Ophthalmologie, XXVIII, 1.

57. Parent, De la region de la macula. Recueil d'ophthalmologie, 1881.

58. Mayershausen, Noch einmal die gefässlose Stelle der menschlichen Retina. Graefes Archiv für Ophthalmologie, XXIX, 1.

59. Wolffberg, Die entoptische Wahrnehmung der Fovea centralis und ihrer Zapfenmosaik. Archiv für Augenheilkunde, XVI, 1886.

60. Nuel, De le vision entoptique de la fovea centralis. Annales d'occulistique. T. XCI, 1884.

61. Helmholtz, Physiologische Optik. II. Auflage.

62. Ruete, Lehrbuch der Ophthalmologie. I, S. 276.

63. G. Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorganes. Leipzig 1854.

64. A. Burow, Der gelbe Fleck im eigenen Auge sichtbar. Archiv für Anatomie und Physiologie von Johannes Müller, 1851.

65. H. Müller, Ueber die entoptische Wahrnehmung der Netzhautgefässe, insbesondere als Beweismittel für die Lichtperception durch die nach hinten gelegenen Netzhautelemente. Beckers Sammlung der Schriften H. Müllers, S. 27.

66. A. Olshausen, Entoptische Untersuchung eines centralen Blendungsscotoms etc. Inaug. Dissert. Halle 1885.

67. W. Haidinger, Ueber das directe Erkennen des polarisierten Lichtes. Poggendorfs Annalen, Bd. 63, 1844.

68. Moigno, Sur une proprieté singulaire de la lumière polarisée. Comptes rendus T. XXII, 1846.

69. Silbermann, Essai d'explication des hoûppes etc. Comptes rendus T. XXIII, 1846.

70. Jamin, Die Haidinger'schen Polarisationsbüschel. Poggendorfs Annalen, Bd. 74, 1849.

71. Haidinger, Einige neuere Ansichten über die Natur der polarisierten Büschel. Poggendorfs Annalen, Bd. 96, 1855.

72. v. Erlach, Mikroskopische Beobachtungen. Ueber organische Elementartheile im polarisiertem Lichte. Müllers Archiv für Anatomie und Physiologie, 1847, p. 313.

73. Geigel, Sitzungsberichte der physik.-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg und Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge. XXXIV, S. 347.

74. Valentin, Zeitschrift für rationelle Medicin, Bd. XIV, 1862.

75. V. v. Ebner, Untersuchungen über die Anisotropie organisierter Substanzen. Leipzig 1882.

76 Apathy, Nach welcher Richtung muss die Nervenlehre reformiert werden? Biologisches Centralblatt, 9. Bd., 1890.

77. Ambronn, Das optische Verhalten markhaltiger und markloser Nervenfasern. Berichte über die Verhandlungen der sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch - naturwissenschaftliche Classe, 1890. Sitzung vom 1. December 1890.

78. Ewald, Ueber die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea und des Sehpurpurs. Untersuchungen aus dem Heidelberger physiolog. Institut. II. Bd.

79. Rampoldi, Sopra un fenomeno subjeftivo della visione. Annali. Oftalmologia. XVIII, p. 487. n. Nagels Jahresbericht für Augenheilkunde.

80. S. Exner, Ueber einige neuere subjective Gesichtserscheinungen. Pflügers Archiv. Bd. I, 1868.

81. G. Mayershausen, Einiges über den Maxwell'schen Fleck. Graefes Archiv für Ophthalmologie, XXVIII, Bd. 2.

82. Czermak, Ueber die entoptische Wahrnehmung der Stäbchen- und Zapfenschicht (Membrana Jacobi retinae). Verhandlungen der k. k. Akademie der Wissenschaften. Bd. 41, 1860.

83. W. Krause, Die Membrana fenestrata, Leipzig. 1868.

Erklärung der Tafel.

Fig. 1. Horizontaler Durchschnitt durch die Mitte der Fovea. Präparat in $3^1/_2\,{}^0/_0$ Salpetersäure fixiert, in Alkohol nachgehärtet und in Celloidin geschnitten. Färbung in Alauncarmin-Ammoniakcarmin, eingebettet in Kali aceticum. Vergrösserung 140.

Fig. 2. Horizontaler Durchschnitt durch die Mitte der Fovea. Präparat in Flemming'scher Lösung fixiert, in Alkohol nachgehärtet, in Paraffin geschnitten. Färbung mit Safranin. Eingebettet in Canadabalsam. Vergrösserung 140.

In den Präparaten, nach denen Fig. 1 und 2 gezeichnet sind, war im Bereich der Foveola an der Aussenfläche der Retina eine kleine Concavität. In der Figur ist die Retina in ihre natürliche Lage zurückgelegt.

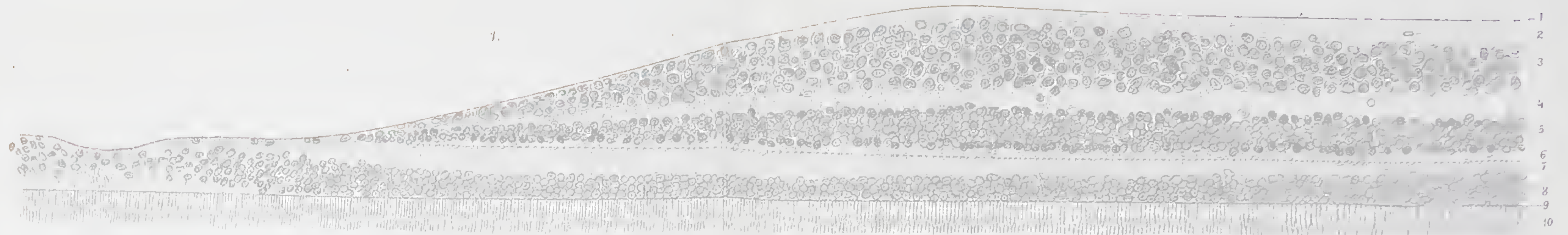
Fig. 3. Zapfenfaserschicht, äussere reticuläre Schicht und einige Elemente der äusseren gangliösen Schicht. Die Zapfenfasern sind bei a in ihrer Verbindung mit den Zapfenfaserkegel, bei b, c und d in verschiedenen Abständen von diesen abgerissen, bei e ist ein Zapfenfaserkegel auch mit einem, kernkörperchenähnlichen Gebilde dargestellt. Härtung in Flemming'scher Lösung.

Fig. 4. a gut erhaltener Zapfenfaserkegel mit Dogiel'schen Klümpchen b und c verbildete Zapfenfaserkegel vom Dogiel'schen Klümpchen abgelöst.

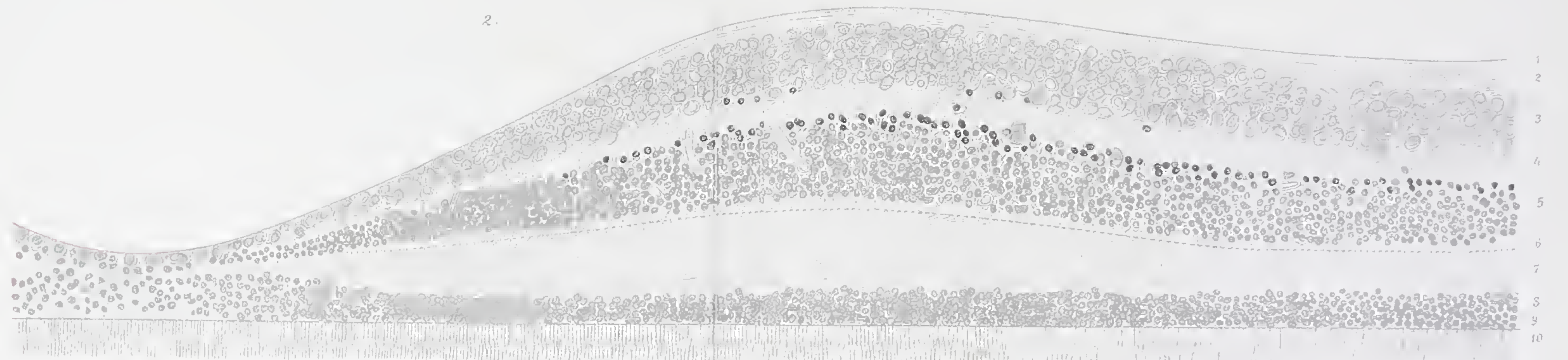
Fig. 5. a Zapfen, b Stäbchen, c gut erhaltener Zapfen mit Kern, d kernhaltiger Zapfen mit Vacuole, e kernhaltiger Zapfen, die Spitze abgerissen, f Zapfen aus der Mitte der Fovea.

Die Fig. 3, 4 und 5 sind mit Zeiss' apochromat. Object. 3 *mm* Apert. 1,4 und Compensationsocular Nr. 18, bei Vergrösserung 1000 gezeichnet.

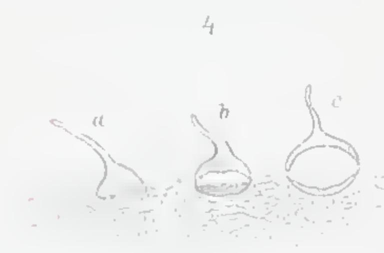
1.



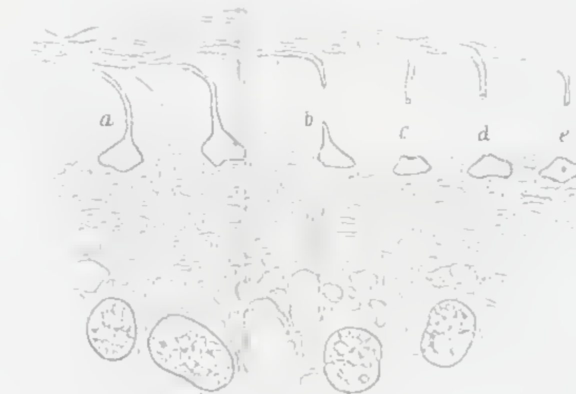
2.



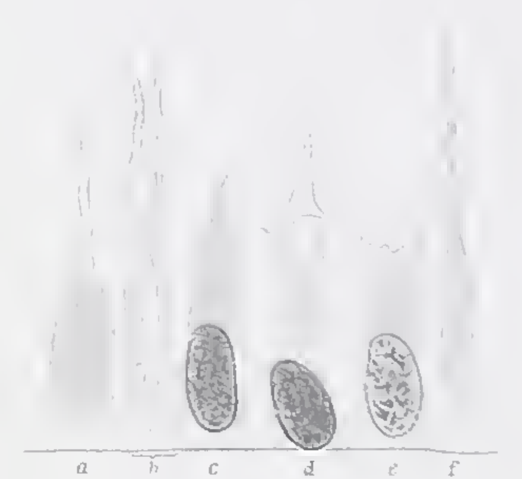
4



3.



5.



Autor del.

Verlag von Franz Deuticke in Wien

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.